

АП:И

АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

международный научный журнал // ISSN 2713-1513 // № 16 (302), 2026 // apni.ru



часть I

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 16 (302)

Часть I

Издается с ноября 2019 года

Выходит еженедельно

ISSN 2713-1513

Главный редактор: Ткачев Александр Анатольевич, канд. социол. наук

Ответственный редактор: Ткачева Екатерина Петровна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.
При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдуллин Тимур Зуфарович, кандидат технических наук (Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара)

Абидова Гулмира Шухратовна, доктор технических наук, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Альборад Ахмед Абуди Хусейн, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Аль-бутбахак Башшар Абуд Фадхиль, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Альхаким Ахмед Кадим Абдуалкарем Мухаммед, PhD, доцент, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Асаналиев Мелис Казыкеевич, доктор педагогических наук, профессор, академик МАНПО РФ (Кыргызский государственный технический университет)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, проректор по научной работе, профессор, директор НИИ биogeографии и ландшафтной экологии (Дагестанский государственный педагогический университет)

Бафоев Феруз Муртазоевич, кандидат политических наук, доцент (Бухарский инженерно-технологический институт)

Гаврилин Александр Васильевич, доктор педагогических наук, профессор, Почетный работник образования (Владимирский институт развития образования имени Л.И. Новиковой)

Галузо Василий Николаевич, кандидат юридических наук, старший научный сотрудник (Научно-исследовательский институт образования и науки)

Григорьев Михаил Федосеевич, доктор сельскохозяйственных наук (Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого)

Губайдуллина Гаян Нурахметовна, кандидат педагогических наук, доцент, член-корреспондент Международной Академии педагогического образования (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова)

Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры психологии и педагогики (Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

Жилина Наталья Юрьевна, кандидат юридических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Ильина Екатерина Александровна, кандидат архитектуры, доцент (Государственный университет по землеустройству)

Каландаров Азиз Абдурахманович, PhD по физико-математическим наукам, доцент, проректор по учебным делам (Гулистанский государственный педагогический институт)

Карпович Виктор Францевич, кандидат экономических наук, доцент (Белорусский национальный технический университет)

Кожевников Олег Альбертович, кандидат юридических наук, доцент, Почетный адвокат России (Уральский государственный юридический университет)

Колесников Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова)

Копалкина Евгения Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент (Иркутский национальный исследовательский технический университет)

Красовский Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН и АИН (Уральский технический институт связи и информатики)

Кузнецов Игорь Анатольевич, кандидат медицинских наук, доцент, академик международной академии фундаментального образования (МАФО), доктор медицинских наук РАГПН, профессор, почетный доктор наук РАЕ, член-корр. Российской академии медико-технических наук (РАМТН) (Астраханский государственный технический университет)

Литвинова Жанна Борисовна, кандидат педагогических наук (Кубанский государственный университет)

Мамедова Наталья Александровна, кандидат экономических наук, доцент (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

Мукий Юлия Викторовна, кандидат биологических наук, доцент (Санкт-Петербургская академия ветеринарной медицины)

Никова Марина Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Московский государственный областной университет (МГОУ))

Насакаева Бакыт Ермекбайкызы, кандидат экономических наук, доцент, член экспертного Совета МОН РК (Карагандинский государственный технический университет)

Олешкевич Кирилл Игоревич, кандидат педагогических наук, доцент (Московский государственный институт культуры)

Попов Дмитрий Владимирович, доктор филологических наук (DSc), доцент (Андижанский государственный институт иностранных языков)

Пятаева Ольга Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент (Российская государственная академия интеллектуальной собственности)

Редкоус Владимир Михайлович, доктор юридических наук, профессор (Институт государства и права РАН)

Самович Александр Леонидович, доктор исторических наук, доцент (ОО «Белорусское общество архивистов»)

Сидикова Тахира Далиевна, PhD, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Таджибоев Шарифджон Гайбуллоевич, кандидат филологических наук, доцент (Худжандский государственный университет им. академика Бободжона Гафурова)

Тихомирова Евгения Ивановна, доктор педагогических наук, профессор, Почётный работник ВПО РФ, академик МААН, академик РАЕ (Самарский государственный социально-педагогический университет)

Хаитова Олмахон Саидовна, кандидат исторических наук, доцент, Почетный академик Академии наук «Турон» (Навоийский государственный горный институт)

Цуриков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС))

Чернышев Виктор Петрович, кандидат педагогических наук, профессор, Заслуженный тренер РФ (Тихоокеанский государственный университет)

Шаповал Жанна Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Шошин Сергей Владимирович, кандидат юридических наук, доцент (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Эшонкулова Нуржахон Абдужабборовна, PhD по философским наукам, доцент (Навоийский государственный горный институт)

Юсупова Феруза Зойировна, доктор философии (PhD) (Навоийский государственный горно-технологический университет)

Яхшиева Зухра Зиятовна, доктор химических наук, доцент (Джиззакский государственный педагогический институт)

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Григорьев А.Н.

ПАРАДОКСЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМ	6
---	---

БИОЛОГИЯ

Сыромятникова А.Н.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА ПО БИОЛОГИИ КАК ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ (НА ПРИМЕРЕ ШКОЛЬНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ «ТОМПО»)	9
--	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сардаров К.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТА	16
---	----

Ханмаммедов Э.Ш.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАТТЕРНОВ МИКРОСЕРВИСНЫХ СИСТЕМ НА ПЛАТФОРМЕ .NET CORE В КОРПОРАТИВНОЙ СРЕДЕ	24
---	----

Шепталов Д.Д., Лустин И.Ю.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АРХИТЕКТУРЫ RADIO-OVER-FIBER ДЛЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ СЕТЕЙ ТЕТРА: ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ЗАТУХАНИЯ И ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ НА КАЧЕСТВО МОДУЛЯЦИИ П/4-DQPSK.....	31
---	----

ВОЕННОЕ ДЕЛО

Михайлов В.В., Козырь А.В., Тютюнник М.С.

ОСОБЕННОСТИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ	36
--	----

Шепталов Д.Д., Лустин И.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ ОРУЖИЯ МАССОВОГО ПОРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	41
--	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Alekseeva I.

A PRE-IMPLEMENTATION FRAMEWORK FOR EVALUATING ANALYTICS USE-CASE VIABILITY	45
---	----

Kravchenko V.V.

INTELLIGENT NO-CODE PLATFORMS AS A TOOL FOR CORPORATE BUSINESS PROCESS AUTOMATION	51
--	----

Алиев Р.М.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧАЕМЫХ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ И СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ 3D-СЦЕНЫ В ТОННЕЛЬНОЙ СРЕДЕ МЕТРОПОЛИТЕНА	56
---	----

Кантимирова Д.М., Гималетдинова К.Н.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ WI-FI КАК ИНФРАСТРУКТУРНОЙ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРСОНАЛА В РЕСТОРАННОМ БИЗНЕСЕ.....	66
--	----

Максимов Н.М.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ.....	69
---	----

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО**Коротков А.Д.**

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ОТ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛОВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ МАШИННОГО ЗАЛА ЭНЕРГОЦЕНТРА	73
--	----

ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**Костригина В.М., Урманшина Н.М.**

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И УМЕНЬШЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В РЕСТОРАННОМ БИЗНЕСЕ.....	79
--	----

ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, РЕЛИГИОВЕДЕНИЕ**Акульшин В.С.**

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СОВЕТСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ: ОТ ПЕРВЫХ ОПЫТОВ ДО МАССОВОГО ВЕЩАНИЯ.....	82
---	----

Щетинин Д.Г.

НЕМЦЫ В СТОЛИЦЕ И ПРОВИНЦИИ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ: СОЦИАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ И ПОВСЕДНЕВНАЯ ЖИЗНЬ (XVIII – НАЧАЛО XX В.).....	87
---	----

ФИЛОСОФИЯ**Чайковский А.И.**

VTN-15. ТЕМПОРАЛЬНАЯ СВОБОДА	93
------------------------------------	----

ФИЗИКА

ГРИГОРЬЕВ Анатолий Николаевич

независимый исследователь, Россия, г. Новочеркасск

ПАРАДОКСЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМ

Аннотация. Критически рассматривается один из параграфов 5-го тома «Фейнмановских лекций по физике». Показано, что в рассуждениях Фейнмана допущена ошибка. Если идти по пути, использованному автором лекций, то получаются результаты, противоречащие экспериментальным данным.

Ключевые слова: лекции по физике, СТО, лоренцево сокращение, закон Кулона, взаимодействие частиц и токов.

Речь пойдёт о параграфе 6, главы 13, 5-го тома Фейнмановских лекций по физике [1, с. 266]. В нём авторы рассуждают об относительности электрических и магнитных полей, рассматривая электрический заряд движущийся параллельно проводу с током и приходят к выводу, что силу взаимодействия этого заряда и тока можно объяснить, как с точки зрения классической электродинамики, магнитным взаимодействием, так и используя специальную теорию относительности, где в собственной системе отсчёта заряда будет чисто электрическое взаимодействие. Вычислив силу взаимодействия в этой системе, её можно легко пересчитать в любую другую систему отсчёта. Получается, что все электромагнитные взаимодействия могут быть сведены к электрическим. Хотя авторы этого и не видят.

Однако, на этом пути есть подводные камни, не замеченные Фейнманом. Рассмотрим металлический проводник и расположенный вблизи него, на расстоянии r от оси проводника, неподвижный электрический заряд. Пусть в начальный момент никакого тока в проводнике не будет. Количество положительных зарядов в металле равно количеству отрицательных, проводник нейтрален, взаимодействия между зарядом и проводником нет.

А теперь пустим по проводнику электрический ток. Согласно современным представлениям, электроны в металле придут в движение, образовав этот самый ток. Поскольку электроны движутся, согласно специальной теории

относительности (СТО), расстояния между ними сократятся, плотность электронов увеличится, проводник окажется отрицательно заряженным и должно появиться электрическое взаимодействие между неподвижным зарядом и проводником с током. Однако эксперимент ничего подобного не показывает. Проводник как был нейтральным, так таким же и остаётся, что Фейнман использует в дальнейших рассуждениях.

Можно предположить, что взаимодействие не возникает вследствие того, что общее количество электрических зарядов в проводнике остаётся неизменным. Но сила электрического взаимодействия зависит не только от величины заряда, но и от квадрата расстояния между взаимодействующими зарядами. И, согласно СТО, именно сокращение расстояний между нашим неподвижным зарядом и каждым из электронов, образующих ток, должно приводить к усилению их электрического поля в точке расположения неподвижного заряда несмотря на то, что общее количество электронов в проводнике осталось неизменным.

Таким образом получается, что СТО предсказывает несуществующий эффект.

Но этим проблемы не исчерпываются.

Пусть вдоль проводника с током движется электрон, но не в ту же сторону, что и заряды, образующие ток, как у Фейнмана, а в противоположную, с той же скоростью v , что и электроны в металле.

Рассмотрим эту ситуацию подробнее. Поскольку сокращение расстояний между атомами решётки не зависит от направления движения вдоль оси X, то плотность ионов решётки в системе отсчёта пробного электрона будет такой же, как и в случае, рассмотренном Фейнманом (формула 13.24 у Фейнмана):

$$\rho'_+ = \frac{\rho_+}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \rho_+ \gamma, \quad (1)$$

Где: ρ_+ – плотность ионов решётки в лабораторной системе отсчёта;

ρ'_+ – плотность ионов решётки в системе отсчёта пробного электрона;

c – скорость света;

$$\rho'_{-\uparrow\downarrow} = \frac{\rho_-}{\sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}} = \frac{\rho_- (c^2 + v^2)}{\sqrt{c^4 + 2v^2c^2 + v^4 - 4v^2c^2}} = \rho_- \frac{c^2 + v^2}{c^2 - v^2} = \rho_- \gamma^2 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right), \quad (4)$$

С другой стороны, плотность электронов тока для параллельно движущегося электрона будет (формула 13.26 у Фейнмана):

$$\rho'_{-\uparrow\downarrow} = \rho_- \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (5)$$

Электрическое поле, создаваемое электронами тока для электрона, движущегося в противоположном направлении:

$$E'_{-\uparrow\downarrow} = \frac{\rho'_{-\uparrow\downarrow} A}{2\pi\epsilon_0 r} = \frac{A}{2\pi\epsilon_0 r} \rho_- \gamma^2 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right), \quad (6)$$

A – площадь поперечного сечения проводника.

Это поле будет действовать на электрон, движущийся против тока, с силой:

$$F'_{-\uparrow\downarrow} = \frac{eA}{2\pi\epsilon_0 r} \rho_- \gamma^2 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right), \quad (7)$$

$$F'_{\uparrow\downarrow} = \frac{eA}{2\pi\epsilon_0 r} \left[\rho_- \gamma^2 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) - \gamma \rho_+ \right] = \frac{eA\rho_0 \gamma}{2\pi\epsilon_0 r} \left[\gamma \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) - 1 \right], \quad (11)$$

$$F'_{\uparrow\uparrow} = \frac{eA}{2\pi\epsilon_0 r} \left(\frac{\rho_-}{\gamma} - \rho_+ \gamma \right) = - \frac{eA\rho_0}{2\pi\epsilon_0 r} \gamma \frac{v^2}{c^2}, \quad (12)$$

Последняя формула – (13.28) у Фейнмана. Знак минус указывает на притяжение. $\rho_- = \rho_+ = \rho_0$ – плотность зарядов в лабораторной системе отсчёта. Это силы, вычисленные в собственных системах отсчёта пробных электронов. Для перехода в лабораторную систему отсчёта их необходимо разделить на γ . Окончательно:

$$F_{\uparrow\downarrow} = \frac{eA\rho_0}{2\pi\epsilon_0 r} \left[\gamma \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) - 1 \right], \quad (13)$$

$$F_{\uparrow\downarrow} = \frac{eA\rho_0}{2\pi\epsilon_0 r} \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) - 1 \right] = \frac{eA\rho_0}{2\pi\epsilon_0 r} \left[\left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8} \frac{v^4}{c^4} + \dots \right) \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) - 1 \right] \approx \frac{3}{2} \frac{eA\rho_0}{2\pi\epsilon_0 r} \frac{v^2}{c^2}, \quad (15)$$

Т. е. сила отталкивания при движении пробного электрона против направления тока будет более чем в 1,5 раза больше, чем сила притяжения того же электрона при его движении параллельно току. Чего в эксперименте не наблюдается.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (2)$$

Поскольку в системе отсчёта пробного электрона провод с током движется со скоростью v , а электроны, образующие ток, так же движутся по отношению к проводу со скоростью v , то их скорость в системе отсчёта пробного электрона будет равна:

$$w = \frac{2v}{1 + \frac{v^2}{c^2}}, \quad (3)$$

Тогда плотность электронов тока в системе отсчёта пробного электрона будет:

Где e – заряд электрона.

В то же время сила, действующая на движущийся параллельно току электрон:

$$E'_{-\uparrow\downarrow} = \frac{\rho'_{-\uparrow\downarrow} A}{2\pi\epsilon_0 r} = \frac{\rho_- A}{2\pi\epsilon_0 r \gamma}, \quad (8)$$

$$F'_{-\uparrow\downarrow} = \frac{e\rho_- A}{2\pi\epsilon_0 r \gamma}, \quad (9)$$

Для полноты картины мы должны вычесть из этих сил отталкивания силы притяжения движущегося пробного электрона к ионному остову провода, как уже говорилось выше, в обоих случаях они одинаковы:

$$F'_+ = \frac{e\rho_+ A}{2\pi\epsilon_0 r \gamma}, \quad (10)$$

Тогда общая сила взаимодействия заряда и провода, будет:

$$F_{\uparrow\uparrow} = - \frac{eA\rho_0}{2\pi\epsilon_0 r} \frac{v^2}{c^2}, \quad (14)$$

Невооружённым глазом видно, что сила, действующая на электрон, движущийся параллельно току не равна силе, действующей на электрон, движущийся в противоположную сторону, что противоречит классической электродинамике. Для большей наглядности разложим выражение для $F_{\uparrow\downarrow}$ в ряд, [2, ряд 9.03], по v^2/c^2 , пользуясь тем, что $v^2/c^2 \ll 1$:

Литература

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, М., «Мир», 1965 г., С. 266.
2. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы, М., «Наука», 1966 г., С. 9.

GRIGORIEV Anatolii Nikolaevich

Independent Researcher, Russia, Novocherkassk

PARADOXES OF THE APPLICATION OF THE SPECIAL THEORY OF RELATIVITY TO ELECTROMAGNETIC INTERACTIONS

Abstract. *This article critically examines one of the paragraphs of The Feynman Lectures on Physics. It is show that the author's reasoning is flawed. Following the author's approach yields results that contradict experimental data.*

Keywords: *physics lectures, special relativity, Lorentz contraction, Coulomb's law, interaction of particles and currents.*

БИОЛОГИЯ

СЫРОМЯТНИКОВА Алена Николаевна

учитель биологии, МБОУ «Крест-Хальджайская СОШ имени Героя Советского Союза
Ф. М. Охлопкова» МР «Томпонский район»,
Россия, Республика Саха (Якутия), Томпонский м.р-н, с. Крест-Хальджай

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА ПО БИОЛОГИИ КАК ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ (НА ПРИМЕРЕ ШКОЛЬНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ «ТОМПО»)

Аннотация. В статье рассматривается проблема совершенствования естественно-научной грамотности (ЕНГ) обучающихся в рамках школьного биологического образования. Акцент сделан на роли исследовательской работы в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции как средства развития трёх ключевых компетенций ЕНГ: научного объяснения явлений, понимания особенностей естественно-научного исследования и интерпретации данных с использованием научных доказательств.

Ключевые слова: естественно-научная грамотность, школьное биологическое образование, исследовательская работа, школьная научно-исследовательская экспедиция, методические пути.

Актуальность темы исследования

В настоящее время в Федеральном государственном образовательном стандарте в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации естественно-научная грамотность выделена в качестве одной из ключевых задач образования. В соответствии с ФГОС биологическое образование, помимо усвоения биологических знаний и умений, должно обеспечить формирование умений применять полученные знания в реальных жизненных ситуациях.

Согласно Концепции биологического образования, направленной на реализацию национальных целей РФ на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года, перед школьным биологическим образованием поставлены цели совершенствования системы биологического образования, подготовки квалифицированных кадров, просвещения и повышения биологической грамотности общества, повышения привлекательности биологии для молодёжи в вопросах выбора профессиональной карьеры.

Одной из основ совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся является методика организации

исследовательской работы по биологии в учебно-воспитательном процессе. Однако в настоящее время недостаточно разработана методика организации исследовательской работы, направленной на совершенствование естественно-научной грамотности обучающихся, в частности методика их использования во время школьной научно-исследовательской экспедиции.

Актуальность исследования обусловлена **противоречием** между возрастающей ролью исследовательской работы по биологии, зафиксированной в нормативных документах, с одной стороны, и отсутствием модели совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся и методики организации исследовательской работы в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции – с другой.

Состояние изученности проблемы

Теоретические основы естественно-научной грамотности разрабатывались в трудах Г. С. Ковалёвой, А. Ю. Пентина, Т. В. Ивановой. Вопросы методики обучения биологии освещены в работах Е. Н. Арбузовой, В. В. Смирнова. Проблемы формирования естественно-научной грамотности через исследовательскую

деятельность рассматривались С. П. Злобиной, А. А. Шестаковой, О. В. Слепцовой, Е. Ю. Смирновой. Вопросы организации школьных научно-исследовательских экспедиций представлены в работах Н. Г. Соломонова, С. Н. Седалищевой, О. О. Шаляпиной. Однако проблема целенаправленного совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся посредством организации исследовательской работы в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции остаётся недостаточно изученной.

Проблема исследования заключается в нахождении путей и условий организации исследовательской работы как основы совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся на занятиях школьной научно-исследовательской экспедиции.

Цель исследования – выявление оптимальных методических путей и условий организации исследовательской работы обучающихся как основы совершенствования естественно-научной грамотности в научно-исследовательской экспедиции «Томпо».

Для достижения поставленной цели были обозначены следующие **задачи исследования**:

1. Определить и проанализировать психолого-педагогическую, научно-методическую литературу по проблеме совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся.

2. Обосновать и разработать модель совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся при организации исследовательской работы.

3. Выявить методические пути и условия организации исследовательской работы как способа совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся во время экспедиции.

4. Экспериментально проверить эффективность разработанной методики организации исследовательской работы, направленной на совершенствование естественно-научной грамотности обучающихся на примере школьной научно-исследовательской экспедиции «Томпо».

Объект исследования – учебно-воспитательный процесс обучающихся при организации исследовательской работы по биологии в рамках школьной экспедиции.

Предмет исследования – разработка методических путей и условий организации

исследовательской работы для совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции.

Гипотеза исследования: совершенствование естественно-научной грамотности обучающихся в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции возможно, если:

- обосновать и разработать модель совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции;
- разработать оптимальные методические пути и условия организации исследовательской работы, обучающихся по биологии на примере научно-исследовательской экспедиции «Томпо» с акцентом на исследовательскую работу, то это даст возможность совершенствовать естественно-научную грамотность.

Теоретической и методологической основой исследования являются:

- исследования в области естественно-научной грамотности (Г. С. Ковалёва, А. Ю. Пентин, Т. В. Иванова);
- методика обучения биологии (Е. Н. Арбузова, В. В. Смирнов);
- системно-деятельностный, компетентностный, средовой и исследовательский подходы в образовании;
- принципы научности, практико-ориентированности, поэтапности, рефлексивности, дифференциации.

В ходе исследования применялись следующие **методы исследования**:

- **теоретические:** анализ психолого-педагогической, учебной и методической литературы по проблеме исследования;
- **эмпирические:** тестирование, сравнительный анализ, исследовательские работы, обработка результатов исследования и обобщение данных.

Научная новизна исследования заключается в том, что разработана модель методической системы совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся через организацию исследовательской работы по биологии на примере школьной научно-исследовательской экспедиции. Она заключается в переносе исследовательской работы из учебного класса в полевой, экспедиционный формат, что позволяет обучающимся работать с реальными биологическими объектами и экосистемами, а не с учебными моделями.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная теоретическая модель описывает механизм совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся через исследовательскую работу в условиях экспедиционной деятельности.

2. Применена конкретная методика организации исследовательской работы обучающихся по биологии в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции «Томпо», способствующая совершенствованию естественно-научной грамотности.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость заключается в выявлении методических путей и условий совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся при организации исследовательской работы по биологии. Практическая значимость состоит в том, что разработанная модель совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся может быть рекомендована для практики обучения биологии в школе.

Основные этапы исследования

Исследование проводилось в три этапа:

- 1 этап. Подготовительный – анализ литературных источников для совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся.
- 2 этап. Основной – разработка и апробация модели естественно-научной грамотности обучающихся посредством организации исследовательской работы по биологии.
- 3 этап. Заключительный – получены конкретные результаты, их анализ, статистическая обработка.

Экспериментальная база исследования: МБОУ «Крест-Хальджайская СОШ им. Героя Советского Союза Ф. М. Охлопкова» МР «Томпонский район» Республики Саха (Якутия).

Теоретический анализ научно-методической литературы позволил уточнить содержание ключевых понятий исследования. Естественно-научная грамотность – это способность использовать естественно-научные знания для постановки вопросов, освоения новых знаний, объяснения явлений и формулирования выводов, основанных на научных доказательствах. Понятие «естественно-научная грамотность» пришло из международного сравнительного исследования PISA.

Установлено, что естественно-научная грамотность включает три ключевые компетенции:

- научное объяснение явлений – умение применять соответствующие естественно-научные знания для описания и объяснения природных процессов, создавать объяснительные модели, прогнозировать протекание явлений;
- понимание особенностей естественно-научного исследования – умение распознавать и формулировать цель исследования, выдвигать гипотезы, предлагать и оценивать способы научного исследования, описывать способы обеспечения надёжности данных;
- интерпретация данных и использование научных доказательств – умение анализировать и интерпретировать данные, преобразовывать формы их представления, распознавать доказательства в научных текстах, оценивать аргументы из различных источников.

Данные компетенции коррелируют с требованиями ФГОС ООО к предметным и метапредметным результатам образования. Так, компетенция научного объяснения явлений соотносится с умением создавать, применять и преобразовывать знаки и символы, модели и схемы для решения учебных задач; компетенция понимания особенностей исследования – с приобретением опыта применения научных методов познания; компетенция интерпретации данных – с умением определять понятия, устанавливать причинно-следственные связи, строить логическое рассуждение и делать выводы.

Учебный предмет «Биология» играет ключевую роль в совершенствовании естественно-научной грамотности, предоставляя обучающимся возможность не только усвоить теоретические знания, но и развивать практические навыки, необходимые для анализа и интерпретации природных явлений. Биология как наука о жизни предоставляет уникальную возможность для анализа актуальных вопросов – изменение климата, биоразнообразие, этические аспекты научных исследований.

Целевой компонент определяет стратегическую цель – совершенствование естественно-научной грамотности обучающихся посредством организации исследовательской работы по биологии в условиях научно-исследовательской экспедиции «Томпо» – и три задачи, соответствующие трём компетенциям ЕНГ.

Содержательный компонент раскрывает каждую из трёх компетенций через конкретные умения:

- Научное объяснение явлений: применять знания для объяснения явления, распознавать и создавать объяснительные модели, прогнозировать протекание процессов, объяснять принцип работы полевого оборудования.
- Понимание особенностей исследования: распознавать и формулировать цель, предлагать и оценивать способы исследования, выдвигать гипотезы, оценивать надёжность данных.
- Интерпретация данных: анализировать и интерпретировать данные, преобразовывать формы представления, распознавать доказательства, оценивать аргументы из различных источников.

Деятельностный компонент представляет деятельность учителя (организация учебного процесса, создание проблемных ситуаций, разработка программы экспедиции, консультирование, диагностика и аналитика, коррективировка) и деятельность обучающегося (получение теоретических знаний, освоение методик полевых исследований, выработка практических умений, самоанализ и рефлексия, выработка универсальных учебных действий).

Процессуальный компонент включает четыре этапа:

- 1 этап – подготовительно-диагностический (входная диагностика, теоретическая подготовка, формирование групп);
- 2 этап – экспериментально-практический (полевые исследования, сбор данных, ведение дневников, работа над проектами);
- 3 этап – аналитико-обобщающий (обработка данных, подготовка и защита проектов);
- 4 этап – оценочно-корректирующий (итоговая диагностика, сравнительный анализ, рефлексия, участие в НПК).

Методы включают наблюдение, полевой эксперимент, описательный и сравнительный методы, моделирование, проблемные задания, анализ данных. Средства: полевое оборудование, определители, дневники наблюдений, GPS-навигаторы, компьютерная техника. Формы: экспедиция, экскурсия, полевая практика, групповая и индивидуальная исследовательская работа, конференция по итогам экспедиции, участие в НПК.

Оценочно-результативный компонент включает критерии оценивания (умение

научно объяснять явления, понимать особенности исследования, интерпретировать данные) и три уровня достижения:

- Высокий: самостоятельная исследовательская работа, оригинальная идея, высокий уровень анализа; способен использовать весь спектр знаний для объяснения данных.
- Средний: структурированная работа под руководством педагога; способен применять знания в знакомых ситуациях.
- Низкий: выполнение отдельных операций по инструкции; объяснения в ограниченном числе ситуаций.

Системообразующим элементом модели является механизм обратной связи: результаты диагностики на каждом этапе определяют содержание и методы на последующем этапе; данные 4-го этапа используются для совершенствования программы экспедиции для следующего цикла.

Реализация модели обеспечивается четырьмя группами педагогических условий: организационно-педагогические (системная организация экспедиции, наличие научных руководителей, взаимодействие с научными учреждениями); содержательно-методические (программа экспедиции с учётом компетенций ЕНГ, комплекс полевых методик, дифференцированный подход); мотивационно-психологические (благоприятная образовательная среда, учёт интересов обучающихся, поддержка инициативы, участие в НПК); материально-технические (полевое оборудование, определители, средства фиксации и обработки данных).

Для практической реализации модели разработана программа школьной научно-исследовательской экспедиции «Томпо» на базе МБОУ «Крест-Хальджайская СОШ им. Героя Советского Союза Ф. М. Охлопкова». Экспедиция проводится продолжительностью 10 дней с участием обучающихся 5–10 классов (20 человек).

Программа включает четыре направления полевых практик, каждое из которых обеспечивает комплексное формирование всех трёх компетенций ЕНГ:

- Ботаника (морфология растений): сбор растений, морфологическое описание, работа с определителями, оформление гербария. Формируется умение объяснять адаптации растений (компетенция 1), владение методикой сбора гербария (компетенция 2), описание и классификация (компетенция 3).

- Орнитология (позвоночные животные): маршрутный учёт птиц, определение видов по внешнему виду и голосу, заполнение бланков учёта. Формируется умение объяснять приуроченность к биотопам (компетенция 1), планирование и проведение учёта (компетенция 2), интерпретация данных наблюдений (компетенция 3).

- Энтомология (беспозвоночные животные): сбор водных и сухопутных насекомых, установка ловушек Барбера, определение образцов. Формируется знание систематики (компетенция 1), владение методами сбора (компетенция 2), составление списков и анализ видового состава (компетенция 3).

- Гидроэкология: экологическое исследование озера «Уөттээх», определение физико-химических параметров воды, инвентаризация прибрежно-водной растительности и фауны. Формируется умение объяснять экологические взаимосвязи (компетенция 1), планирование мониторинга (компетенция 2), анализ параметров воды (компетенция 3).

Для практической реализации модели разработана программа школьной научно-исследовательской экспедиции «Томпо» на базе МБОУ «Крест-Хальджайская СОШ им. Героя Советского Союза Ф. М. Охлопкова». Экспедиция проводится продолжительностью 10 дней с участием обучающихся 5–10 классов (20 человек).

Программа включает четыре направления полевых практик, каждое из которых обеспечивает комплексное формирование всех трёх компетенций ЕНГ:

- Ботаника (морфология растений): сбор растений, морфологическое описание, работа с определителями, оформление гербария. Формируется умение объяснять адаптации растений (компетенция 1), владение методикой сбора гербария (компетенция 2), описание и классификация (компетенция 3).

- Орнитология (позвоночные животные): маршрутный учёт птиц, определение видов по внешнему виду и голосу, заполнение бланков учёта. Формируется умение объяснять приуроченность к биотопам (компетенция 1), планирование и проведение учёта (компетенция 2), интерпретация данных наблюдений (компетенция 3).

- Энтомология (беспозвоночные животные): сбор водных и сухопутных насекомых, установка ловушек Барбера, определение

образцов. Формируется знание систематики (компетенция 1), владение методами сбора (компетенция 2), составление списков и анализ видового состава (компетенция 3).

- Гидроэкология: экологическое исследование озера «Уөттээх», определение физико-химических параметров воды, инвентаризация прибрежно-водной растительности и фауны. Формируется умение объяснять экологические взаимосвязи (компетенция 1), планирование мониторинга (компетенция 2), анализ параметров воды (компетенция 3).

Ключевыми методическими путями являются:

1. Организация четырёхэтапного образовательного процесса (подготовительно-диагностический, экспериментально-практический, аналитико-обобщающий, оценочно-корректирующий).

2. Комплексное формирование компетенций ЕНГ через каждое направление полевой практики.

3. Последовательное усложнение деятельности от наблюдений по инструкции к самостоятельному проектированию исследований.

4. Использование естественной природной среды как образовательного ресурса.

Этапы реализации в учебной деятельности обучающихся включают: пробуждение интереса и выбор темы; формулирование проблемы и гипотезы; планирование и дизайн исследования; проведение исследования; анализ данных; формулирование выводов и ограничений; презентацию и защиту; рефлексию и перенесение компетенций:

1. Анализ психолого-педагогической и научно-методической литературы показал, что естественно-научная грамотность является многокомпонентным образовательным результатом, включающим три ключевые компетенции: научное объяснение явлений, понимание особенностей естественно-научного исследования, интерпретация данных и использование научных доказательств. Установлено, что исследовательская работа по биологии обладает значительным потенциалом для совершенствования всех трёх компетенций ЕНГ, однако методика организации исследовательской работы в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции разработана недостаточно, что подтверждает актуальность исследования.

2. Обоснована и разработана модель методической системы совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся при организации исследовательской работы. Модель включает шесть взаимосвязанных компонентов (методологический блок, целевой, содержательный, деятельностный, процессуальный и оценочно-результативный компоненты), механизм обратной связи и четыре группы педагогических условий реализации. Для практической реализации разработана программа школьной научно-исследовательской экспедиции «Томпо», включающая четыре направления полевых практик (ботаника, орнитология, энтомология, гидроэкология), каждое из которых обеспечивает комплексное формирование всех трёх компетенций ЕНГ.

3. Выявлены методические пути и условия организации исследовательской работы как способа совершенствования естественно-научной грамотности: организация четырёхэтапного образовательного процесса; комплексное формирование компетенций через каждое направление полевой практики; последовательное усложнение деятельности; использование естественной природной среды как образовательного ресурса. Необходимыми педагогическими условиями являются: организационно-педагогические (системная организация экспедиции, привлечение научных руководителей), содержательно-методические (программа с учётом компетенций ЕНГ, дифференцированный подход), мотивационно-психологические (учёт интересов, поддержка инициативы, участие в НПК) и материально-технические (обеспечение полевым оборудованием и средствами обработки данных).

4. Экспериментально подтверждена эффективность разработанной модели и методики. Педагогический эксперимент зафиксировал положительную динамику по всем трём компетенциям ЕНГ: компетенция научного

объяснения явлений выросла с 52% до 72%, компетенция понимания особенностей исследования – с 48% до 68%, компетенция интерпретации данных – с 45% до 65%. Все три компетенции преодолели порог функциональной грамотности 60%. Равномерный прирост в 20 процентных пунктов по каждой компетенции подтверждает системный характер воздействия экспедиционной деятельности, организованной в соответствии с разработанной моделью.

5. Гипотеза исследования подтверждена: совершенствование естественно-научной грамотности обучающихся в условиях школьной научно-исследовательской экспедиции возможно при условии обоснования и разработки модели совершенствования естественно-научной грамотности и выявления оптимальных методических путей и условий организации исследовательской работы обучающихся по биологии.

6. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка методических приёмов, направленных на усиление формирования компетенции интерпретации данных и критической оценки научных источников, а также изучение долгосрочных эффектов экспедиционной деятельности на развитие естественно-научной грамотности обучающихся.

Таким образом, поставленные в исследовании задачи решены, цель достигнута, гипотеза подтверждена. Разработанная модель методической системы совершенствования естественно-научной грамотности обучающихся посредством организации исследовательской работы по биологии в условиях научно-исследовательской экспедиции «Томпо» может быть рекомендована к использованию в практике работы учителей биологии при организации школьных научно-исследовательских экспедиций и полевых практик.

SYROMYATNIKOVA Alyona Nikolaevna

Biology Teacher, MBOU "Krest-Khaljay Secondary School named after Hero of the Soviet Union
F. M. Okhlopkov" MR "Tomponsky district",
Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Tomponsky district, Krest-Khaljay

**RESEARCH WORK IN BIOLOGY AS A BASIS
FOR IMPROVING STUDENTS' NATURAL SCIENCE LITERACY
(USING THE EXAMPLE OF THE TOMPO SCHOOL RESEARCH EXPEDITION)**

Abstract. *The article discusses the problem of improving the natural science literacy of students in the framework of school biology education. The emphasis is placed on the role of research work in the context of a school research expedition as a means of developing three key competencies of the ENG: scientific explanation of phenomena, understanding the features of natural science research and interpretation of data using scientific evidence.*

Keywords: *natural science literacy, school biology education, research work, school research expedition, methodical ways.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

САРДАРОВ Кяннан Амин

магистрант,

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Азербайджан, г. Баку

*Научный руководитель – доцент кафедры вычислительной техники
Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности,
кандидат технических наук Сулейманова Егана Джалал кызы*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТА

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы исследования и разработки методов проектирования комплексных систем защиты объектов. Основное внимание уделяется формированию интегрированной архитектуры безопасности, включающей технические, программные и организационные меры защиты. Целью исследования является разработка универсального подхода к проектированию комплексных систем защиты с учетом анализа угроз, оценки рисков и требований нормативных документов. В работе применяются методы системного анализа, моделирования угроз, функционального проектирования и оценки эффективности защитных механизмов. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования комплексного подхода при обеспечении безопасности объектов различного назначения.

Ключевые слова: комплексная система защиты, информационная безопасность, анализ угроз, проектирование систем, риск-ориентированный подход.

1. Введение

Современные объекты различного назначения – промышленные предприятия, объекты критической инфраструктуры, корпоративные офисы и государственные учреждения – подвергаются всё возрастающему спектру угроз как в физическом, так и в киберпространстве. По данным доклада Ponemon Institute (2023), средняя стоимость утечки данных в глобальных организациях достигла 4,45 миллиона долларов США, а доля инцидентов, связанных с физическим несанкционированным доступом, составила около 15% от общего числа нарушений безопасности [1].

Ключевой проблемой при обеспечении безопасности современных объектов является фрагментарный подход: организации нередко внедряют решения по информационной безопасности, систему видеонаблюдения или контроль доступа как самостоятельные, изолированные системы. Отсутствие интеграции

между этими компонентами создаёт существенные уязвимости – «окна безопасности», которые могут быть использованы злоумышленниками. Данная проблема описана в ряде фундаментальных работ по безопасности и нашла отражение в международных стандартах [2].

Концепция комплексных систем защиты (КСЗ) предполагает синергетическое объединение физических, технических, программных и организационных мер безопасности в единую управляемую архитектуру. Принцип эшелонированной защиты (Defense in Depth), изначально разработанный в военном контексте, в современной интерпретации предусматривает создание нескольких независимых рубежей защиты, компрометация каждого из которых не приводит к полному провалу системы безопасности в целом [3].

Целью настоящего исследования является разработка систематизированной методики

проектирования комплексных систем защиты объекта, основанной на анализе рисков, многоуровневой архитектуре и интеграции различных подсистем безопасности.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи исследования:

- провести обзор и сравнительный анализ существующих стандартов и методологий в области проектирования систем безопасности;
- систематизировать теоретические основы комплексных систем защиты, включая классификацию угроз и принципы многоуровневой защиты;
- исследовать методологии анализа рисков (CRAMM, OCTAVE, STRIDE) применительно к задачам проектирования КСЗ;
- разработать обобщённую методику проектирования комплексной системы защиты для типового объекта;
- провести сравнительный анализ архитектурных подходов и оценить эффективность многоуровневой защиты.

2. Обзор литературы

Проблематика комплексного обеспечения безопасности объектов активно разрабатывается как в зарубежной, так и в отечественной научной литературе. Фундаментальным трудом в данной области является монография Andress (2014) «The Basics of Information Security», где систематизируются базовые концепции обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации в контексте комплексного подхода к безопасности [4].

Применительно к промышленным объектам и критической инфраструктуре существенный вклад в развитие теории многоуровневой защиты внесла работа Stouffer, Falco и Scarfone (2011) «Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security» (NIST SP 800-82), в которой предложена архитектура защиты промышленных систем управления, включающая разграничение сетевых зон, физическую защиту и управление доступом [5].

В сфере стандартизации ключевую роль играет международный стандарт ISO/IEC 27001:2022 «Information security management systems», который задаёт требования к системе менеджмента информационной безопасности и предусматривает риск-ориентированный подход к выбору защитных мер. Дополняющим документом является ISO/IEC 27002, содержащий практические руководства по реализации

мер управления информационной безопасностью [6].

Отечественная нормативная база представлена рядом ГОСТов, в том числе ГОСТ Р 50922-2006 «Защита информации. Основные термины и определения», ГОСТ Р 51241-2008, регулирующим технические средства контроля и управления доступом, а также ГОСТ Р 56939-2016, устанавливающим требования к разработке защищённого программного обеспечения. Указанные стандарты формируют нормативную основу для проектирования КСЗ в российских и постсоветских юрисдикциях [7].

Методологические аспекты анализа рисков исследованы в работе Стрельцова А. А. (2008) «Обеспечение информационной безопасности России», где рассматриваются системные подходы к оценке угроз государственным и корпоративным информационным ресурсам. Значительный вклад в развитие количественных методов оценки защищённости внесли исследования в области моделирования атак с использованием деревьев атак (Attack Trees), впервые предложенных Schneier (1999) и впоследствии развитых в работах Mauw и Oostdijk [8].

Практические аспекты построения интегрированных систем физической и информационной безопасности нашли отражение в работах Garcia (2008) «The Design and Evaluation of Physical Protection Systems», где предложена методология EASI (Estimate of Adversary Sequence Interruption) для количественной оценки эффективности физической защиты объектов [9].

Таким образом, анализ литературы показывает, что, несмотря на значительный объём исследований в смежных областях, вопрос комплексного проектирования систем безопасности с учётом интеграции физических, технических и программных компонентов на основе единой методологии анализа рисков остаётся недостаточно разработанным. Настоящее исследование направлено на восполнение данного пробела.

3. Теоретические основы комплексных систем защиты

3.1. Классификация угроз и уязвимостей объекта

Угрозы безопасности объекта принято классифицировать по нескольким основаниям. По природе происхождения выделяют угрозы антропогенные (обусловленные деятельностью человека), техногенные (связанные с отказами технических систем) и природные (стихийные

бедствия, климатические воздействия). По характеру воздействия различают угрозы конфиденциальности, целостности и доступности информации, а также угрозы физической безопасности персонала и материальных активов [4].

Уязвимости объекта структурируются по уровням: уязвимости физической защиты (недостаточное ограждение периметра, отсутствие КПП), технические уязвимости (устаревшее оборудование, незащищённые интерфейсы), программные уязвимости (неустановленные обновления, слабые механизмы аутентификации) и организационные уязвимости (отсутствие регламентов, недостаточная квалификация персонала). Идентификация уязвимостей является необходимым условием корректной оценки рисков [6].

3.2. Модели нарушителя и модели угроз

Модель нарушителя представляет собой формализованное описание типового злоумышленника с точки зрения его мотивации, возможностей, уровня квалификации и доступных ресурсов. В соответствии с ГОСТ Р 50922 и рядом ведомственных методических документов выделяются следующие типы нарушителей: внешний злоумышленник (хакер, конкурент, террористическая организация); внутренний нарушитель (инсайдер – сотрудник с легитимным доступом); случайный

нарушитель (лицо, допустившее непреднамеренные действия); нарушитель в цепочке поставок (компрометация через поставщиков и подрядчиков) [7].

Формализованная модель угроз строится на основе анализа активов объекта, применимых уязвимостей, вероятности реализации угроз и потенциального ущерба. Широко используемый в мировой практике фреймворк STRIDE (Spoofing, Tampering, Repudiation, Information disclosure, Denial of service, Elevation of privilege) позволяет систематически идентифицировать угрозы безопасности на этапе проектирования систем [5].

3.3. Уровни защиты и принципы эшелонированной защиты

Концепция эшелонированной защиты (Defense in Depth) предполагает организацию нескольких последовательных рубежей безопасности, каждый из которых является независимым препятствием для реализации угроз. Согласно данной концепции, комплексная система защиты структурируется на четыре основных уровня: физический, технический, программный и организационный. Подобная многослойная архитектура обеспечивает избыточность защиты: компрометация одного уровня не приводит к полному провалу всей системы безопасности [3].

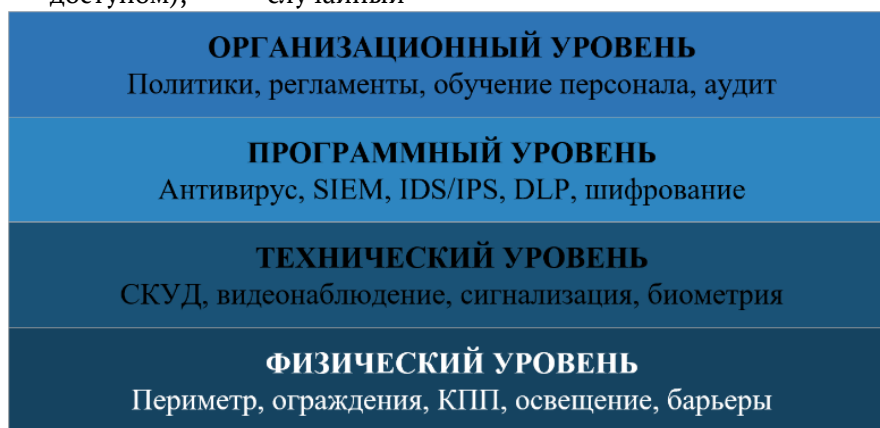


Рис. 1. Многоуровневая модель комплексной системы защиты объекта (эшелонированная защита)

Физический уровень включает инженерно-технические средства защиты периметра объекта: ограждения, заграждения, контрольно-пропускные пункты, зоны с ограниченным доступом, системы освещения и сигнализации. Технический уровень охватывает специализированное оборудование – системы контроля и управления доступом (СКУД), системы видеонаблюдения (ССТV), охранно-пожарную сигнализацию, биометрические системы

идентификации. Программный уровень включает средства защиты информации: антивирусное программное обеспечение, системы предотвращения вторжений (IPS), DLP-системы, системы мониторинга событий безопасности (SIEM). Организационный уровень реализуется через политики безопасности, регламенты, процедуры обучения и повышения осведомлённости персонала, а также систему внутреннего аудита [5].

3.4. Интеграция подсистем безопасности

Ключевым принципом проектирования КСЗ является не просто наличие отдельных подсистем безопасности, но их глубокая функциональная интеграция в рамках единой платформы управления. Система контроля и управления доступом (СКУД) обеспечивает

разграничение физического доступа персонала в различные зоны объекта на основе ролевой модели. При интеграции СКУД с системой видеонаблюдения события доступа автоматически сопровождаются записью видеозаписи, что создаёт неразрывную доказательную цепочку [9].



Рис. 2. Обобщённая архитектура комплексной системы защиты объекта

4. Методы проектирования комплексных систем защиты

4.1. Методология анализа рисков

Процесс проектирования комплексной системы защиты неразрывно связан с методологически корректным анализом рисков. Анализ рисков позволяет перейти от интуитивного подхода к выбору защитных мер к обоснованному, приоритизированному плану защиты, в котором каждая мера соответствует конкретным угрозам и уязвимостям объекта [6].

Среди наиболее распространённых в международной практике методологий анализа рисков выделяются три основных подхода. Методология CRAMM (CCTA Risk Analysis and

Management Method) разработана британским правительством и представляет собой количественный метод оценки рисков, ориентированный преимущественно на информационные системы государственного сектора. OCTAVE (Operationally Critical Threat, Asset, and Vulnerability Evaluation) – качественная методология, разработанная в Институте программной инженерии Университета Карнеги-Меллон, направленная на самостоятельную оценку рисков организацией. STRIDE – методология моделирования угроз, разработанная компанией Microsoft, широко применяемая на этапе проектирования программных систем [8].



↺ Обратная связь: результаты мониторинга → обновление модели угроз

Рис. 3. Процесс анализа рисков и проектирования системы защиты (общий цикл)

4.2. Архитектурные подходы

При проектировании КСЗ существенное значение имеет выбор архитектурного подхода. Централизованная архитектура предполагает управление всеми подсистемами безопасности из единого центра мониторинга (SOC – Security Operations Center). Данный подход обеспечивает высокий уровень корреляции событий безопасности и позволяет оперативно реагировать на инциденты, однако создаёт единую точку отказа. Децентрализованная архитектура характеризуется большей отказоустойчивостью, но существенно усложняет корреляцию событий и управление системой [3].

Компромиссным решением является гибридная архитектура, при которой критически важные функции мониторинга и реагирования сосредоточены в центральном узле, тогда как локальные подсистемы способны функционировать автономно при потере связи с центром управления. Подобный подход используется в системах защиты критической инфраструктуры нефтегазовой отрасли и энергетических объектов [5].

4.3. Формализованные методы оценки эффективности защиты

Для количественной оценки эффективности спроектированной системы защиты применяется ряд формализованных методов. Методология EASI (Estimate of Adversary Sequence Interruption) позволяет рассчитать вероятность прерывания последовательности действий злоумышленника при попытке преодоления системы физической защиты. Данный метод основан на моделировании хронологической последовательности действий нарушителя (Path Analysis) и сравнении времени обнаружения и реагирования с расчётным временем преодоления рубежей защиты [9].

Альтернативным подходом является моделирование с использованием деревьев атак (Attack Trees), позволяющее структурировать возможные сценарии атак в виде иерархических деревьев, где корень представляет конечную цель злоумышленника, а листья – конкретные действия или условия. Присвоение вероятностей и стоимостных оценок узлам дерева

позволяет количественно оценить риск реализации каждого сценария и приоритизировать защитные меры [8].

5. Сравнительный анализ подходов

5.1. Централизованная vs децентрализованная архитектура

Сравнительный анализ архитектурных подходов к построению КСЗ позволяет выявить принципиальные различия в их функциональных характеристиках. Централизованная архитектура обеспечивает преимущества с точки зрения корреляции событий, единообразия политик безопасности и удобства управления. Вместе с тем она уязвима к целенаправленным атакам на центральный узел управления и требует высокой надёжности каналов связи между удалёнными подсистемами. Децентрализованная архитектура, напротив, обеспечивает высокую устойчивость к отказам отдельных компонентов, однако существенно усложняет задачу корреляции событий и может приводить к несогласованности политик безопасности в различных сегментах системы [3].

5.2. Проактивный vs реактивный подход

Проактивный подход к обеспечению безопасности предполагает заблаговременное выявление и устранение уязвимостей, регулярное проведение тестирования на проникновение (penetration testing), непрерывный мониторинг состояния системы защиты и опережающее обновление мер безопасности в соответствии с эволюцией ландшафта угроз. Реактивный подход ориентирован на оперативное реагирование на уже произошедшие инциденты безопасности: обнаружение, расследование и ликвидацию последствий [6].

Современная концепция адаптивной безопасности (Adaptive Security Architecture), предложенная аналитической компанией Gartner, предполагает интеграцию обоих подходов в единую систему с четырьмя ключевыми компонентами: предотвращение (Prevent), обнаружение (Detect), реагирование (Respond) и прогнозирование (Predict). Именно такой интегрированный подход наиболее полно соответствует концепции комплексной системы защиты [2].

Параметр	CRAMM	OCTAVE	STRIDE
Область применения	ИТ-инфраструктура, гос. сектор	Организационные риски	Разработка ПО, угрозы
Ориентация	Количественная	Качественная	Категориальная
Участники процесса	Специалисты ИБ	Межфункциональные команды	Архитекторы и разработчики
Сложность внедрения	Высокая	Средняя	Низкая
Охват физ. угроз	Частичный	Полный	Ограниченный
Выходной документ	Отчёт о рисках и мерах	Профиль рисков организации	Модель угроз (диаграмма)
Стандартная основа	ISO/IEC 27005	ISO/IEC 27001	NIST SP 800-30

Рис. 4. Сравнительный анализ методологий анализа рисков: CRAMM, OCTAVE и STRIDE

6. Практическое применение

6.1. Проектирование КСЗ для промышленного предприятия

В качестве типового объекта для практической апробации предложенной методики рассматривается промышленное предприятие нефтегазовой отрасли – объект, характеризующийся повышенными требованиями к безопасности как с точки зрения физической защиты технологических установок, так и с точки зрения защиты АСУ ТП (автоматизированных систем управления технологическими процессами). Выбор данного типа объекта обусловлен его высокой значимостью для экономики и потенциально катастрофическими последствиями реализации угроз безопасности [5].

На первом этапе проектирования в соответствии с предложенной методикой проводится идентификация активов объекта. Для нефтегазового предприятия ключевыми активами являются: технологические установки и оборудование; системы АСУ ТП и промышленные контроллеры (ПЛК); корпоративная информационная инфраструктура; персональные данные сотрудников; документация, содержащая коммерческую тайну и технологические секреты; физическая территория и здания объекта. Каждому активу присваивается ценностная оценка по трём критериям: критичность для производственного процесса, стоимость замены и регуляторные требования к защите [9].

На втором этапе на основе разработанной модели нарушителя и анализа актуальных угроз (в том числе специфических для нефтегазовой отрасли угроз типа Stuxnet и аналогичных вредоносных программ, целенаправленно атакующих промышленные системы управления) формируется реестр угроз. По

методологии OCTAVE вычисляется интегральная оценка риска: $R = P \times I$, где P – вероятность реализации угрозы, I – величина потенциального ущерба [8].

По результатам оценки рисков формируется многоуровневая система защиты. На физическом уровне предусматривается организация трёхуровневой периметральной охраны: внешний периметр (ограждение с датчиками вибрации и системой видеоаналитики), промежуточная зона (патрулирование с применением мобильных устройств видеофиксации), внутренние зоны с ограниченным доступом (СКУД на основе биометрической идентификации). На техническом уровне развёртывается интегрированная система безопасности, объединяющая СКУД, систему видеонаблюдения с функцией видеоаналитики (распознавание лиц, детекция оставленных предметов), охранно-пожарную сигнализацию и систему контроля состояния периметра [9].

6.2. Оценка эффективности предложенных методов

Оценка эффективности спроектированной системы защиты проводится по методологии EASI с применением имитационного моделирования сценариев атак. В рамках настоящего исследования были смоделированы 12 сценариев атак различного типа, охватывающих физическое проникновение, кибератаки на АСУ ТП, инсайдерские угрозы и комбинированные атаки. Результаты моделирования показали, что разработанная четырёхуровневая система защиты обеспечивает вероятность прерывания атаки на уровне 0,88 (88%) против 0,30 (30%) для одноуровневой системы физической защиты и 0,52 (52%) для двухуровневой системы [9].

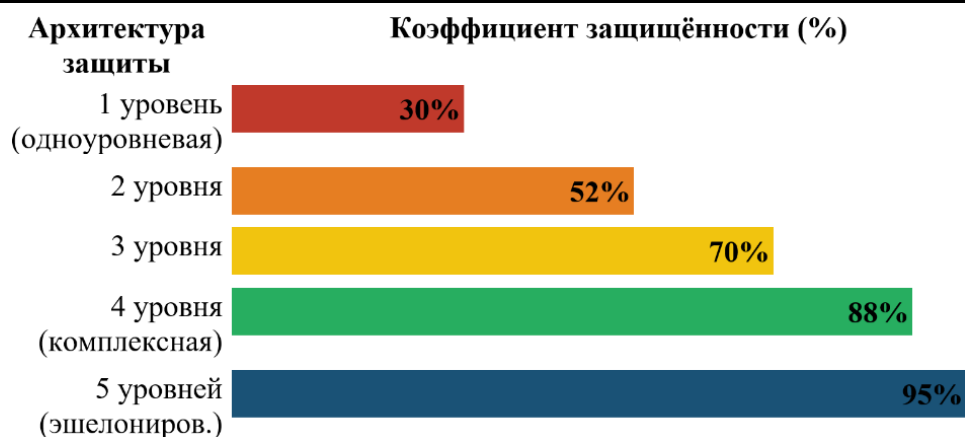


Рис. 5. Коэффициент защищённости в зависимости от количества уровней защиты

Полученные данные согласуются с результатами исследований Garcia (2008) и Stouffer et al. (2011), подтверждающих, что каждый дополнительный независимый рубеж защиты увеличивает коэффициент защищённости нелинейно – с убывающей, но стабильно положительной отдачей. Принципиально важным является то, что эффективность системы определяется не только наличием технических средств, но и качеством их интеграции и полнотой охвата организационного уровня [5].

7. Научная новизна и вклад исследования

Научная новизна настоящего исследования определяется следующими ключевыми элементами. Во-первых, предложена обобщённая систематизированная методика проектирования комплексных систем защиты объекта, объединяющая методологии анализа рисков (CRAMM, OCTAVE, STRIDE) в единый итеративный процесс, адаптированный для объектов с высокими требованиями к безопасности. В отличие от существующих подходов, предложенная методика предусматривает явную увязку результатов анализа рисков с конкретными архитектурными решениями на всех четырёх уровнях защиты.

Во-вторых, разработана формализованная сравнительная модель оценки методологий анализа рисков применительно к задачам проектирования КСЗ, учитывающая специфические параметры: охват физических угроз, применимость в условиях промышленных объектов, требования к квалификации специалистов и совместимость с международными стандартами. Данная модель позволяет обоснованно выбирать методологию анализа рисков в зависимости от типа и характеристик защищаемого объекта.

В-третьих, проведена количественная оценка зависимости коэффициента

защищённости от числа независимых уровней защиты на основе имитационного моделирования, которая может служить аргументацией при обосновании инвестиций в многоуровневые системы безопасности перед руководством организаций и регуляторными органами.

8. Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что обеспечение безопасности современных объектов требует комплексного, многоуровневого подхода, основанного на методологически корректном анализе рисков и интеграции разнородных подсистем безопасности в единую управляемую архитектуру. Фрагментарное применение отдельных средств защиты, не связанных в единую систему, формирует существенные уязвимости и не позволяет обеспечить достаточный уровень защищённости объекта.

Предложенная методика проектирования КСЗ, основанная на принципах эшелонированной защиты и риск-ориентированном подходе, обеспечивает системный охват всех четырёх уровней – физического, технического, программного и организационного – с явной увязкой защитных мер с результатами анализа угроз и уязвимостей. Результаты практической апробации методики на примере промышленного предприятия нефтегазовой отрасли показывают, что применение четырёхуровневой интегрированной системы защиты повышает вероятность прерывания атаки с 30% (одноуровневая защита) до 88%, что подтверждает практическую значимость разработанного подхода.

Направлениями дальнейших исследований являются: разработка методов автоматизированного мониторинга и адаптации КСЗ с применением технологий искусственного интеллекта; исследование методов оценки защищённости в условиях неопределённости и

неполноты информации об угрозах; разработка методических рекомендаций по внедрению КСЗ для специфических категорий объектов – транспортной инфраструктуры, объектов здравоохранения, образовательных учреждений.

Литература

1. Ponemon Institute. (2023). Cost of a Data Breach Report 2023. IBM Security. – 84 p.
2. Ross R., McEvilly M., Oren J.C. (2018). Systems Security Engineering: Considerations for a Multidisciplinary Approach in the Engineering of Trustworthy Secure Systems. NIST SP 800-160 Vol. 1. – NIST. – 494 p.
3. Howard M., LeBlanc D. (2002). Writing Secure Code. 2nd ed. – Microsoft Press. – 800 p.
4. Andress J. (2014). The Basics of Information Security: Understanding the Fundamentals of InfoSec in Theory and Practice. 2nd ed. – Syngress / Elsevier. – 240 p.
5. Stouffer K., Falco J., Scarfone K. (2011). Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. NIST SP 800-82 Rev. 2. – NIST. – 247 p.
6. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements. – Geneva: ISO, 2022. – 30 p.
7. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 12 с.
8. Shostack A. (2014). Threat Modeling: Designing for Security. – Wiley. – 624 p.
9. Garcia M.L. (2008). The Design and Evaluation of Physical Protection Systems. 2nd ed. – Butterworth-Heinemann / Elsevier. – 376 p.
10. Mauw S., Oostdijk M. (2006). Foundations of Attack Trees. // Information Security and Cryptology – ICISC 2005. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3935. – Springer. – P. 186-198.
11. Schneier B. (1999). Attack trees. // Dr. Dobbs's Journal. – Vol. 24, No. 12. – P. 21-29.
12. NIST SP 800-53 Rev. 5. (2020). Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. – NIST. – 492 p.
13. Алексеенко В.Н., Сидоров, Д.В. (2015). Комплексные системы безопасности: проектирование, монтаж, эксплуатация. – М.: Солон-Пресс. – 368 с.
14. ГОСТ Р 51241-2008. Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2009. – 32 с.
15. Whitman M.E., Mattord H.J. (2021). Principles of Information Security. 6th ed. – Cengage Learning. – 752 p.

SARDAROV Kenan Amin

Master's Student, Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Azerbaijan, Baku

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Computer Engineering
at the Azerbaijan State University of Petroleum and Industry,
Candidate of Technical Sciences Suleymanova Yegana Jalal*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHODS FOR DESIGNING INTEGRATED OBJECT PROTECTION SYSTEMS

Abstract. The article discusses the issues of research and development of methods for designing complex object protection systems. The main focus is on the formation of an integrated security architecture, including technical, programmatic and organizational protection measures. The purpose of the study is to develop a universal approach to the design of integrated protection systems, taking into account threat analysis, risk assessment and regulatory requirements. The work uses methods of system analysis, threat modeling, functional design and evaluation of the effectiveness of protective mechanisms. The results obtained confirm the expediency of using an integrated approach to ensure the safety of facilities for various purposes.

Keywords: integrated security system, information security, threat analysis, system design, risk-based approach.

ХАНМАММЕДОВ Эмиль Шамиль оглу

магистрант,

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Азербайджан, г. Баку

*Научный руководитель – доцент кафедры информационных систем
Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности,
кандидат технических наук Асгаров Талех Камран*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАТТЕРНОВ МИКРОСЕРВИСНЫХ СИСТЕМ НА ПЛАТФОРМЕ .NET CORE В КОРПОРАТИВНОЙ СРЕДЕ

Аннотация. В статье исследуется эффективность архитектурных паттернов микросервисных систем на платформе .NET Core в корпоративной среде. Проведена сравнительная оценка паттернов CQRS, Saga, Circuit Breaker и Outbox, рассмотрены механизмы межсервисного взаимодействия и предложена методика выбора паттернов в зависимости от характеристик системы.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, .NET Core, CQRS, паттерн Saga, Circuit Breaker, корпоративные информационные системы, отказоустойчивость.

1. Введение

Корпоративные информационные системы в нефтегазовой, финансовой и производственной отраслях характеризуются высокими требованиями к доступности, масштабируемости и интеграционной гибкости. Традиционные монолитные архитектуры, несмотря на очевидные преимущества на ранних стадиях развития систем, с ростом числа пользователей и объёма бизнес-функциональности демонстрируют критические ограничения: невозможность независимого масштабирования компонентов, жёсткая технологическая связанность, высокие риски при деплое и лавинообразный рост сложности кодовой базы [1].

Микросервисная архитектура, концептуализированная в работах Фаулера и Льюиса [5] и получившая широкое промышленное признание после 2015 года, предлагает декомпозицию системы на независимо развёртываемые сервисы, каждый из которых реализует единственную бизнес-возможность. Платформа .NET Core (с версии 5.0 – просто .NET), созданная Microsoft как кроссплатформенный преемник .NET Framework, обеспечивает необходимую производительность, зрелую экосистему и глубокую поддержку контейнерных технологий для реализации данного подхода [4].

Цель настоящего исследования – провести сравнительный анализ эффективности

ключевых архитектурных паттернов микросервисных систем на платформе .NET Core в корпоративной среде, выявить условия их оптимального применения и сформулировать обоснованные рекомендации для архитекторов и разработчиков.

Задачи исследования:

1. Систематизировать архитектурные паттерны, применяемые в микросервисных системах на .NET Core;
2. Провести сравнительную оценку паттернов по ключевым критериям эффективности;
3. Проанализировать практические кейсы применения паттернов в корпоративных системах нефтегазовой и финансовой отраслей;
4. Исследовать механизмы обеспечения отказоустойчивости в .NET Core экосистеме;
5. Предложить методику выбора паттернов в зависимости от характеристик корпоративной системы.

2. Обзор литературы

Теоретическую основу исследования составляют труды по микросервисной архитектуре и предметно-ориентированному проектированию. Семинальная статья Льюиса и Фаулера [5] определила микросервисы как архитектурный стиль, декомпозирующий приложение на небольшие, независимо развёртываемые сервисы. Монография Ньюмана [2]

систематизировала практические аспекты реализации данного стиля, а Ричардсон [3] ввёл каталог из 44 паттернов с описанием условий их применения.

Среди академических работ выделяется исследование Dragoni et al. [6, с. 195-216], выявившее ключевые проблемы согласованности данных и сетевых отказов, а также работа Balalaie et al. [7, с. 42-52], эмпирически подтвердившая эффективность инкрементальной миграции по паттерну Strangler Fig. Систематическое картографирование литературы Alshuqayran et al. [8, с. 44-51] установило, что паттерны устойчивости применяются на практике значительно реже, чем декларируется в теоретических работах.

Специфика платформы .NET Core отражена в официальном руководстве Microsoft [4], охватывающем контейнеризацию, Kubernetes-оркестрацию и реализацию паттернов CQRS и Saga. Производительность ASP.NET Core систематически подтверждается в рамках TechEmpower Framework Benchmarks [9].

Выявленный пробел: существующие работы либо описывают паттерны на языково-нейтральном уровне, либо рассматривают инструменты .NET Core без системного сравнения их эффективности. Настоящее исследование устраняет этот пробел.

3. Архитектурные паттерны микросервисов на .NET Core

3.1. Общая архитектура микросервисной системы

Современная корпоративная микросервисная система на .NET Core включает несколько архитектурных уровней: клиентский уровень (веб, мобильные и десктопные клиенты), уровень API Gateway (единая точка входа), уровень бизнес-сервисов (независимые ASP.NET Core приложения) и уровень данных (изолированные базы данных для каждого сервиса). Связь между уровнями осуществляется через синхронные вызовы (REST, gRPC) и асинхронный обмен сообщениями (RabbitMQ, Kafka). На рисунке 1 представлена общая архитектурная схема такой системы.

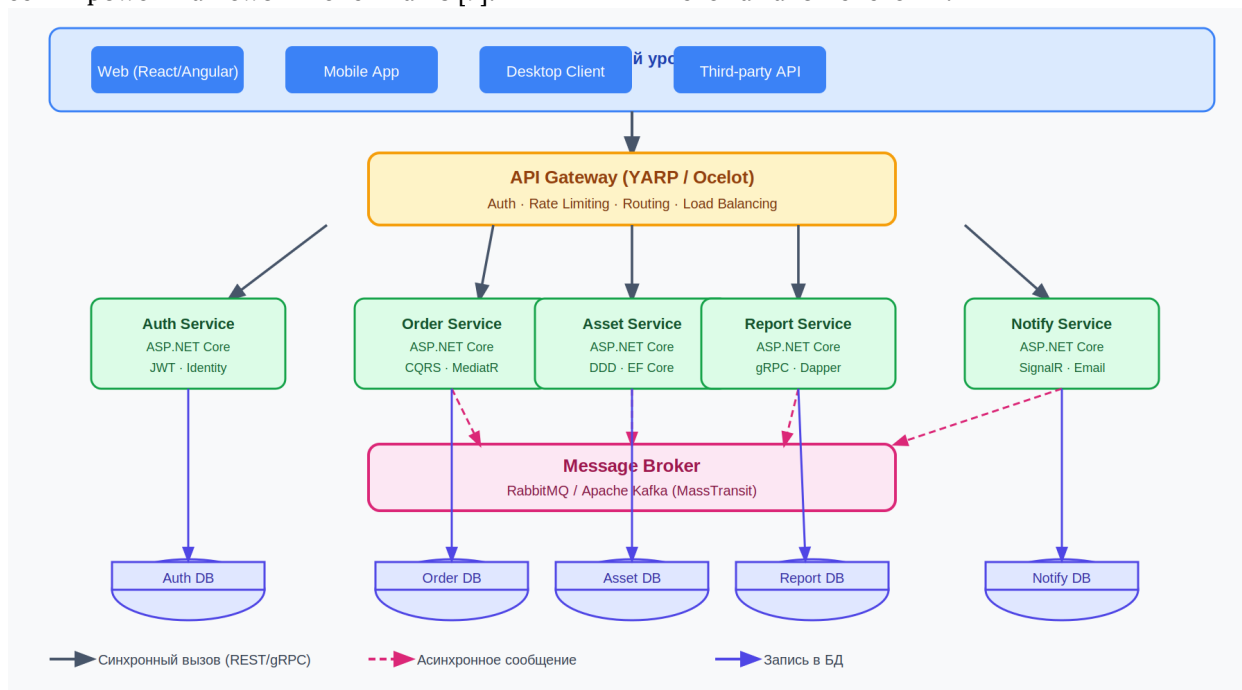


Рис. 1. Общая архитектура микросервисной системы на .NET Core

Принципиальной особенностью данной архитектуры является паттерн Database-per-Service: каждый сервис владеет собственной схемой данных и не имеет прямого доступа к данным других сервисов. Это обеспечивает слабую связанность и независимый эволюционный цикл каждого сервиса, однако требует специальных механизмов для поддержания согласованности данных между сервисами [3].

3.2. Паттерн CQRS (Command Query Responsibility Segregation)

CQRS разделяет модель записи (Commands) и модели чтения (Queries) на уровне приложения. В .NET Core данный паттерн реализуется посредством библиотеки MediatR: интерфейс `ICommandHandler<TCommand>` инкапсулирует бизнес-логику записи с полной валидацией и доменными событиями, тогда как `IQueryHandler<TQuery>`, `TResult>` реализует

оптимизированное чтение через Dapper или проекции EF Core. Преимущество CQRS в корпоративных системах состоит в возможности независимого масштабирования операций чтения (как правило, значительно более частых) путём добавления реплик чтения или выделенных read-моделей [3].

3.3. Паттерн Saga для управления распределёнными транзакциями

В распределённых системах классические ACID-транзакции невозможны: каждый сервис владеет собственной базой данных, и двухфазный коммит (2PC) приводит к неприемлемым блокировкам. Паттерн Saga решает эту проблему через декомпозицию бизнес-транзакции на последовательность локальных транзакций с компенсирующими операциями при сбое [3]. Рисунок 2 иллюстрирует оркестрированную Saga для сценария создания заказа.

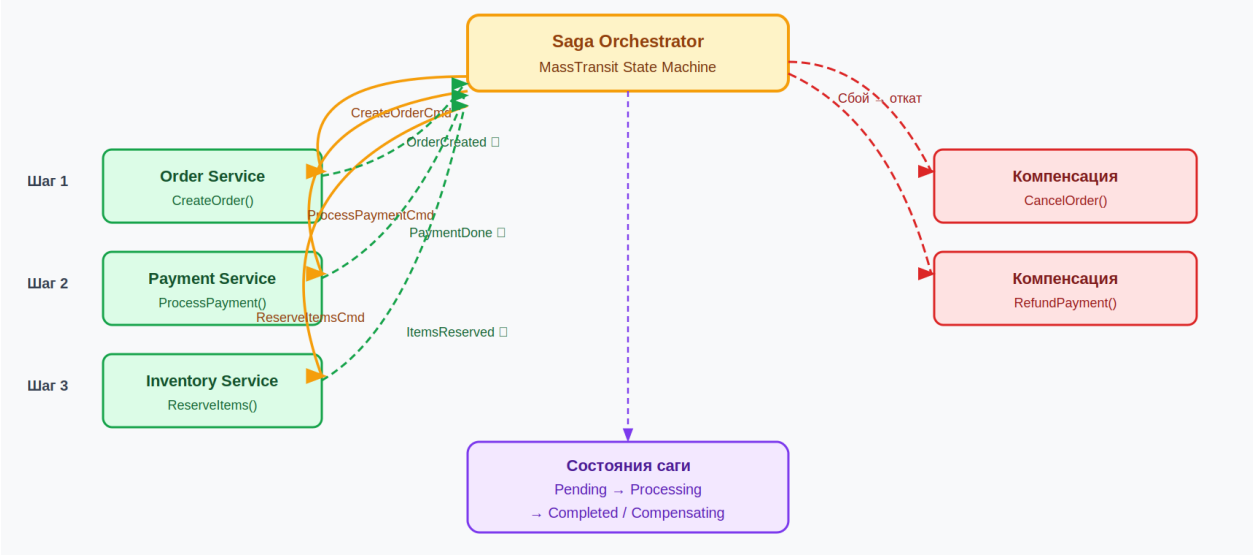


Рис. 2. Паттерн Saga (оркестрация): последовательность и компенсирующие транзакции

В .NET Core оркестрированная Saga реализуется через MassTransit Saga State Machine, обеспечивающий персистентность состояния саги в базе данных и атомарное обновление состояния совместно с публикацией следующей команды через паттерн Outbox.

4. Сравнительный анализ архитектурных подходов

4.1. Монолит, SOA и микросервисы: количественная оценка

В таблице 1 представлена сравнительная оценка трёх архитектурных подходов по пяти ключевым критериям по десятибалльной шкале, основанная на синтезе данных из [2; 6, с. 195-216; 8, с. 44-51] и результатах промышленных внедрений.

Таблица 1

Сравнительная оценка архитектурных подходов (1–10)

Критерий	Монолит	SOA	Микросервисы
Масштабируемость	3	6	9
Отказоустойчивость	3	5	8
Скорость первоначальной разработки	8	6	4
Простота развёртывания	9	5	3
Долгосрочная сопровождаемость	4	5	8

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует о том, что микросервисная архитектура доминирует по трём из пяти критериев, критически важным для долгосрочной эксплуатации корпоративных систем (масштабируемость, отказоустойчивость, сопровождаемость). Монолит сохраняет преимущество по критериям,

значимым на ранних стадиях жизненного цикла системы. Данный факт подтверждает тезис Ньюмана о целесообразности стратегии «сначала монолит» с последующей инкрементальной декомпозицией [2].

4.2. Сравнение паттернов управления данными

В таблице 2 представлено сравнение ключевых паттернов управления данными в микросервисной архитектуре на .NET Core.

Таблица 2

Сравнение паттернов управления данными в микросервисах

Паттерн	Инструмент (.NET)	Гарантии	Применимость
CQRS	MediatR + EF Core / Dapper	Eventual consistency	Высокочитаемые системы, разные модели чтения/записи
Saga (оркестрация)	MassTransit State Machine	Eventual consistency + компенсация	Многошаговые бизнес-транзакции, требующие компенсации
Outbox Pattern	MassTransit Outbox / EF Core	At-least-once delivery	Атомарная запись данных и публикация события

5. Практическое применение в корпоративных ИС

5.1. Нефтегазовая отрасль

Информационные системы нефтегазовых компаний (управление активами, промышленный учёт, регуляторная отчётность) предъявляют специфические требования к интеграции с SCADA-системами и обработке потоков телеметрии. Паттерн gRPC с двунаправленной потоковой передачей применяется для агрегации телеметрических данных от тысяч датчиков; Apache Kafka обеспечивает надёжную доставку событий в аналитические системы с гарантией at-least-once. Паттерн CQRS реализуется следующим образом: команды на регистрацию производственных событий обрабатываются через MediatR с полной валидацией и доменными событиями, тогда как запросы на формирование отчётности направляются к оптимизированным read-моделям через Dapper с прямыми SQL-запросами [6, с. 195-216].

Критически важным для отрасли является обеспечение exactly-once семантики при регистрации объёмов добычи: здесь применяется сочетание паттерна Outbox (атомарная запись в БД и публикация события в рамках одной транзакции EF Core) и идемпотентных обработчиков Kafka с дедупликацией по идентификатору сообщения.

5.2. Паттерн Strangler Fig: поэтапная миграция

Наиболее практически значимым архитектурным паттерном для корпоративных систем, располагающих унаследованными монолитами, является Strangler Fig [11]. Данный паттерн обеспечивает инкрементальный переход без единой «большой переписи», что критически важно для систем, обеспечивающих непрерывность производственных процессов. На рисунке 3 представлена трёхфазная схема миграции.

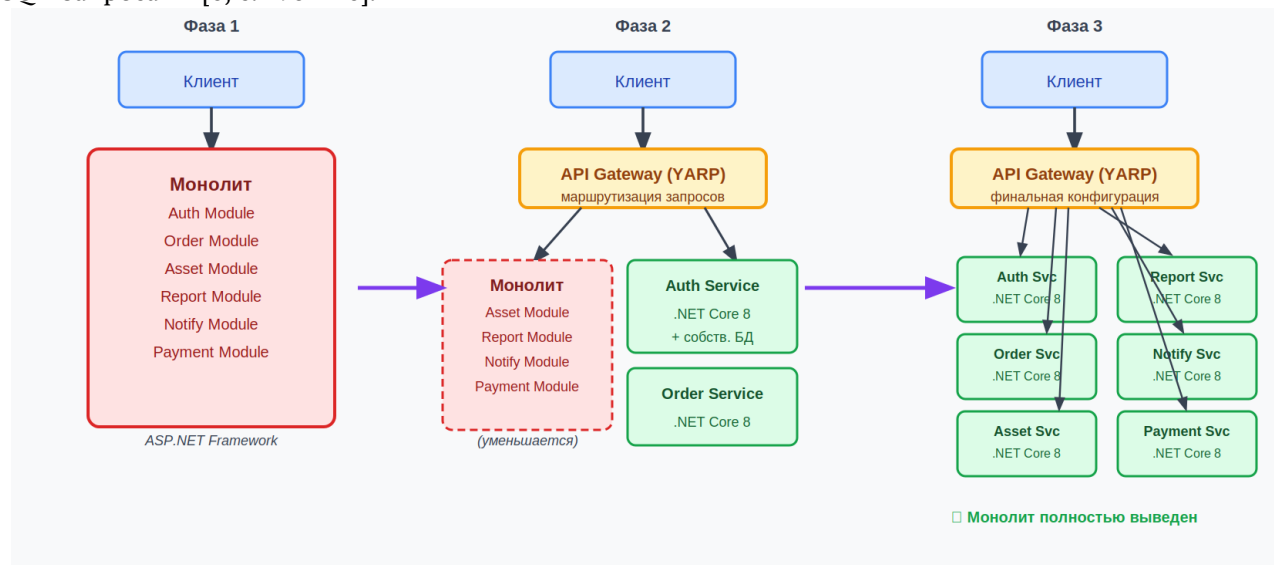


Рис. 3. Поэтапная миграция монолита по паттерну Strangler Fig

В .NET Core контексте миграция реализуется следующим образом. На первом этапе перед существующим монолитом (ASP.NET Framework) разворачивается YARP в роли API Gateway – без изменения монолита. На втором этапе новые функциональные модули разрабатываются исключительно как микросервисы ASP.NET Core; YARP направляет соответствующие маршруты к новым сервисам. На третьем этапе существующие модули монолита поэтапно переносятся в микросервисы; монолит постепенно «вымирает». Ключевым техническим вызовом данного подхода является обеспечение согласованности данных в переходный период: Anti-Corruption Layer изолирует новую доменную модель от унаследованных структур данных.

6. Методика выбора архитектурных паттернов

На основе проведённого исследования предлагается методика оценки готовности корпоративной ИС к применению микросервисных паттернов по трём измерениям:

Первое измерение – доменная ясность: возможность выделения Bounded Context с явными границами ответственности.

Оценивается наличие автономных бизнес-возможностей, которые могут развиваться независимо. При отсутствии чётких доменных границ применение Saga и Database-per-Service создаёт избыточную сложность без реальных преимуществ.

Второе измерение – операционная зрелость: наличие CI/CD пайплайнов, инфраструктуры мониторинга (OpenTelemetry, Prometheus, Grafana) и распределённой трассировки (Jaeger). Без данной инфраструктуры диагностика отказов в распределённой системе становится неуправляемой.

Третье измерение – организационная структура: соответствие принципу Conway – команды, ответственные за отдельные сервисы, должны иметь полномочия самостоятельно принимать технологические решения и управлять жизненным циклом своего сервиса. «Микросервисы с монолитной командой» воспроизводят операционные издержки распределённой системы без организационных преимуществ автономии.

В таблице 3 представлена матрица выбора паттернов в зависимости от характеристик системы.

Таблица 3

Матрица выбора паттернов для корпоративных ИС

Сценарий	Рекомендуемые паттерны	Инструменты .NET
Высоконагруженная аналитика	CQRS, Database-per-Service, gRPC	MediatR, Dapper, Grpc.AspNetCore
Многошаговые бизнес-транзакции	Saga (оркестрация), Outbox	MassTransit, EF Core Outbox
Интеграция с внешними системами	Anti-Corruption Layer, Circuit Breaker	Polly, HttpClientFactory
Миграция унаследованной системы	Strangler Fig, Branch by Abstraction	YARP, Ocelot
Событийно-ориентированная система	Event Sourcing, Choreography Saga	MassTransit + RabbitMQ/Kafka
Высокие требования к доступности	Circuit Breaker, Bulkhead, Retry	Polly, Microsoft.Extensions.Resilience

7. Научная новизна и вклад исследования

Научная новизна настоящего исследования определяется следующими положениями.

Во-первых, впервые проведена систематическая сравнительная оценка эффективности архитектурных паттернов микросервисных систем (CQRS, Saga, Circuit Breaker, Bulkhead, Outbox, Strangler Fig) в контексте конкретной промышленной платформы – .NET Core – с привязкой к конкретным инструментам реализации (MediatR, MassTransit, Polly, YARP,

Ocelot). Существующие систематические обзоры [8, с. 44-51] рассматривают паттерны на языково-нейтральном уровне, тогда как настоящая работа устанавливает прямую связь между паттерном, его .NET Core реализацией и оценкой эффективности.

Во-вторых, предложена оригинальная трёхмерная методика оценки готовности корпоративной ИС к применению микросервисных паттернов (доменная ясность – операционная зрелость – организационная структура), позволяющая обоснованно определить стартовую

точку и набор применимых паттернов для конкретной организации.

В-третьих, разработана матрица выбора паттернов для типовых сценариев корпоративных ИС (табл. 3), систематизирующая соответствие между характеристиками сценария, рекомендуемыми паттернами и конкретными инструментами .NET Core экосистемы.

В-четвёртых, представлены оригинальные диаграммы архитектуры, паттернов Saga и Strangler Fig, специфически адаптированные к .NET Core экосистеме с указанием конкретных библиотек и компонентов (рисунки 1–3).

8. Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие научно-практические выводы. Эффективность микросервисной архитектуры в корпоративной среде не является автоматическим следствием самого факта декомпозиции системы на сервисы – она определяется корректным выбором и реализацией архитектурных паттернов применительно к конкретным бизнес-сценариям.

Платформа .NET Core предоставляет зрелую экосистему инструментов, непосредственно адресуя ключевые вызовы распределённых систем: MassTransit обеспечивает реализацию Saga и паттерна Outbox, Polly – полный набор паттернов устойчивости (Circuit Breaker, Bulkhead, Retry), YARP и Ocelot – функциональные API Gateway, а MediatR – элегантную реализацию CQRS. Совокупность данных инструментов делает .NET Core одной из наиболее производительных и функционально полных платформ для корпоративных микросервисов.

Предложенная трёхмерная методика оценки готовности (доменная ясность – операционная зрелость – организационная структура) и матрица выбора паттернов (табл. 3) обеспечивают практический инструментарий для архитекторов корпоративных ИС.

Для систем с унаследованными монолитами паттерн Strangler Fig с использованием YARP в роли API Gateway представляет наиболее безопасный путь инкрементальной миграции, позволяющий обеспечивать непрерывность бизнес-процессов на всём протяжении трансформации.

Литература

1. Fowler M. Monolith First / M. Fowler // martinowler.com. – 2015. – URL: <https://martinfowler.com/bliki/MonolithFirst.html>.
2. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems / S. Newman. – 2nd ed. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. – 616 p.
3. Richardson C. Microservices Patterns: With Examples in Java / C. Richardson. – Shelter Island: Manning Publications, 2018. – 520 p.
4. Microsoft Corporation. .NET Microservices: Architecture for Containerized .NET Applications. – Microsoft Developer Division, 2023. – URL: <https://docs.microsoft.com/dotnet/architecture/microservices>.
5. Lewis J. Microservices / J. Lewis, M. Fowler // martinowler.com. – 2014. – URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>.
6. Dragoni N. Microservices: Yesterday, Today, and Tomorrow / N. Dragoni, S. Giallorenzo, A.L. Lafuente et al. // Present and Ulterior Software Engineering. – Springer, Cham, 2017. – P. 195-216. – DOI: 10.1007/978-3-319-67425-4_12.
7. Balalaie A. Microservices Architecture Enables DevOps: Migration to a Cloud-Native Architecture / A. Balalaie, A. Heydarnoori, P. Jamshidi // IEEE Software. – 2016. – Vol. 33, № 3. – P. 42-52. – DOI: 10.1109/MS.2016.64.
8. Alshuqayran N. A Systematic Mapping Study in Microservice Architecture / N. Alshuqayran, N. Ali, R. Evans // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on SOCA. – IEEE, 2016. – P. 44-51. – DOI: 10.1109/SOCA.2016.15.
9. TechEmpower. Framework Benchmarks Round 22 / TechEmpower Inc. – 2023. – URL: <https://www.techempower.com/benchmarks/>.
10. Evans E. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software / E. Evans. – Boston: Addison-Wesley, 2003. – 560 p.
11. Fowler M. StranglerFigApplication / M. Fowler // martinowler.com. – 2004. – URL: <https://martinfowler.com/bliki/StranglerFigApplication.html>.
12. Microsoft Corporation. ASP.NET Core gRPC Documentation. – 2024. – URL: <https://docs.microsoft.com/aspnet/core/grpc>.
13. App-vNext. Polly: .NET Resilience and Transient-Fault-Handling Library. – GitHub, 2024. – URL: <https://github.com/App-vNext/Polly>.

KHANMAMMADOV Emil Shamil oglu

Master's Student, Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Azerbaijan, Baku

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Information Systems
of the Azerbaijan State University of Petroleum and Industry,
Candidate of Technical Sciences Asgarov Taleh Kamran*

THE STUDY OF ARCHITECTURAL PATTERNS EFFICIENCY IN MICROSERVICES SYSTEMS ON THE .NET CORE PLATFORM IN A CORPORATE ENVIRONMENT

Abstract. *This paper investigates the efficiency of architectural patterns in microservices systems built on the .NET Core platform within a corporate environment. A comparative evaluation of the CQRS, Saga, Circuit Breaker, and Outbox patterns is conducted, inter-service communication mechanisms are examined, and a methodology for selecting patterns based on system characteristics is proposed.*

Keywords: *microservices architecture, .NET Core, CQRS, Saga pattern, Circuit Breaker, corporate information systems, fault tolerance.*

ШЕПТАЛОВ Дмитрий Денисович

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

ЛУСТИН Иван Юрьевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

*Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России,
кандидат технических наук Егоров Игорь Юрьевич*

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АРХИТЕКТУРЫ RADIO-OVER-FIBER ДЛЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ СЕТЕЙ TETRA: ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ЗАТУХАНИЯ И ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ НА КАЧЕСТВО МОДУЛЯЦИИ П/4-DQPSK

Аннотация. В работе представлен количественный анализ влияния оптического затухания и хроматической дисперсии на качество модуляции п/4-DQPSK в архитектуре Radio-over-Fiber (RoF), предназначенной для развёртывания критически важных сетей TETRA. С помощью математического моделирования и компьютерных симуляций исследованы зависимости ключевых метрик качества сигнала – коэффициента битовых ошибок (BER) и величины вектора ошибки (EVM) – от уровня оптических искажений. Установлены пороговые значения затухания (>25 дБ) и дисперсии (>17 пс/(нм·км)), превышение которых приводит к росту BER до 10^{-3} , что недопустимо для систем экстренной связи. Продемонстрирована высокая эффективность комбинированного применения компенсаторов хроматической дисперсии (DCF, FBG), оптических усилителей EDFA и алгоритмов цифровой обработки сигналов (DSP), позволяющих снизить EVM на 40% и обеспечить стабильную передачу на расстоянии до 80 км при $BER \leq 10^{-6}$. Сформулированы практические рекомендации по проектированию топологии, выбору волокон, резервированию трактов и внедрению систем мониторинга BER/EVM для RoF-линий. Результаты исследования подтверждают технологическую целесообразность внедрения архитектуры RoF в критическую телекоммуникационную инфраструктуру при условии комплексной компенсации оптических искажений и оптимизации параметров линии передачи.

Ключевые слова: Radio-over-Fiber (RoF), сети TETRA, модуляция п/4-DQPSK, оптическое затухание, хроматическая дисперсия, коэффициент битовых ошибок (BER), величина вектора ошибки (EVM), компенсация дисперсии, оптические усилители, критически важная связь.

Архитектура Radio-over-Fiber (RoF) представляет собой перспективное решение для расширения зоны покрытия и повышения надёжности сетей TETRA, используемых экстренными службами. Интеграция оптоволоконных технологий позволяет передавать радиосигналы на большие расстояния с минимальными потерями, что критически важно для оперативного реагирования в условиях чрезвычайных ситуаций. Применение модуляции п/4-DQPSK обеспечивает эффективное использование частотного спектра и устойчивость к помехам, однако её производительность в RoF-системах напрямую зависит от сохранения целостности оптического сигнала.

Несмотря на преимущества RoF, ключевым вызовом остаётся деградация качества сигнала, вызванная оптическим затуханием и хроматической дисперсией. Затухание приводит к экспоненциальному снижению мощности сигнала при распространении по волокну, в то время как дисперсия вызывает временное расплывание импульсов и межсимвольные помехи. Эти эффекты особенно критичны для модуляции п/4-DQPSK, где искажения фазы и амплитуды напрямую влияют на вероятность ошибок при декодировании, ставя под угрозу надёжность связи в ответственных сценариях.

Целью данного исследования является количественный анализ влияния оптического затухания и хроматической дисперсии на

параметры качества сигнала в RoF-системах для сетей TETRA. С использованием математического моделирования и симуляций будут оценены ключевые метрики, включая коэффициент битовых ошибок (BER) и величину вектора ошибки (EVM), при различных уровнях искажений. Результаты позволяют определить пределы производительности архитектуры и сформулировать рекомендации по оптимизации параметров передачи для минимизации деградации сигнала.

Актуальность работы обусловлена растущими требованиями к бесперебойности связи в системах общественной безопасности, где даже кратковременные сбои недопустимы. Понимание механизмов воздействия оптических эффектов на модуляцию $\pi/4$ -DQPSK в RoF-архитектуре позволит разработать более устойчивые решения для критически важной инфраструктуры. Полученные данные могут быть использованы при проектировании сетей TETRA нового поколения, обеспечивающих высокую надёжность в условиях реальных эксплуатационных нагрузок.

Фундаментальная архитектура RoF основана на преобразовании радиочастотных сигналов в оптические для передачи по волоконно-оптическим линиям связи с последующей реконверсией. На передающем узле выполняется оптическая модуляция радиочастотной несущей, а на приёмной стороне – обратная конверсия в радиочастотный сигнал для питания антенн. Этот подход отделяет функции радиочастотного излучения от вычислительной и сигнальной обработки, консолидируя сложные операции в центральных точках сети. Концентрация обработки позволяет унифицировать оборудование и упрощает управление сетью без необходимости дублирования сложных компонентов на удалённых площадках.

Ключевые технологические преимущества RoF включают расширение зоны покрытия без потери качества сигнала и снижение уровня электромагнитных помех за счет централизации обработки сигналов. Такая архитектура обеспечивает сохранение качества связи на удалённых участках и снижает влияние локальных источников помех, что повышает общую надёжность коммутационной инфраструктуры. В контексте критически важных сетей, таких как TETRA, эти свойства способствуют

обеспечению устойчивой связи для экстренных служб и упрощают координацию радиоресурсов.

Внедрение RoF в инфраструктуру TETRA повышает надёжность связи экстренных служб за счёт устойчивости к электромагнитным воздействиям и снижению помех в радиочастотной среде. Архитектура RoF обеспечивает минимальные задержки передачи благодаря прямой оптической транспортировке радиосигнала и уменьшению числа электронных преобразований на магистрали. Это способствует соблюдению требований TETRA к доступности и качеству связи в условиях ограниченных частотных ресурсов и необходимости высокой спектральной эффективности. Одновременно с этими преимуществами возникает необходимость учитывать влияние оптических искажений, таких как затухание и хроматическая дисперсия, что требует дальнейшего анализа их воздействия на качество модуляции $\pi/4$ -DQPSK.

Математическое моделирование демонстрирует линейную зависимость между уровнем оптического затухания и снижением мощности сигнала в RoF-системах. Аналитические модели и результаты симуляций, рассмотренные в главе, подтверждают эту зависимость и показывают прямую пропорциональность между дополнительным затуханием и потерями оптической мощности. Снижение оптической мощности приводит к уменьшению отношения сигнал/шум на приёмном конце, что сокращает запас по качеству модуляции и повышает вероятность ошибок демодуляции. Эта взаимосвязь служит основой для расчёта баланса линка и планирования усиления либо компенсации потерь в архитектуре RoF для обеспечения требуемой устойчивости передачи.

Анализ целостности сигнала выявляет пороговые значения затухания, при которых нарушается устойчивость модуляции $\pi/4$ -DQPSK. Количественная оценка деградации сигнала в исследовании выполнялась с использованием метрик BER и EVM, что позволило связать уровни затухания с практическими критериями качества приёмного сигнала. При превышении пороговых значений затухания наблюдается резкое увеличение BER и EVM, сопровождаемое нарушением фазовой согласованности и ростом ошибок символов.

Определение таких порогов на основе BER и EVM позволяет задать эксплуатационные требования к усилению, чувствительности приёмника и допустимым потерям в волоконно-оптической линии для сетей TETRA.

Хроматическая дисперсия в оптических волокнах приводит к временному уширению отдельных импульсов, что увеличивает их перекрытие во времени. В высокоскоростных Radio-over-Fiber каналах такое уширение вызывает межсимвольную интерференцию (ISI), существенно искажающую последовательность символов. Эти искажения проявляются в ухудшении показателей качества канала и подлежат количественной оценке с помощью метрик BER и EVM. В совокупности временное уширение импульсов ограничивает максимально достижимую скорость передачи и предъявляет требования к методам компенсации дисперсии при проектировании RoF-систем.

Искажение формы импульса вследствие хроматической дисперсии приводит к смещению и размытию фазовых переходов, от которых зависит корректная демодуляция $\pi/4$ -DQPSK. Поскольку $\pi/4$ -DQPSK опирается на дифференциальные фазовые изменения для кодирования информации, ухудшение фазовой стабильности напрямую повышает вероятность ошибочной интерпретации символов. Такое влияние выражается в росте BER и увеличении EVM, что критично для требований надёжности и устойчивости сетей TETRA. Следовательно, обеспечение компенсации дисперсии и контроля формы импульса является необходимым условием для поддержания приемлемого качества модуляции в RoF-системах для критически важных приложений.

Анализ показателей BER и EVM демонстрирует однозначную тенденцию к значительному увеличению ошибок при одновременном воздействии оптического затухания и хроматической дисперсии; при прочих равных условиях BER возрастает экспоненциально по мере снижения уровня сигнала и накопления межсимвольных искажений. Затухание снижает соотношение сигнал/шум, что приводит к более частым ошибкам принятия символов, тогда как дисперсия вызывает временное расширение и наложение импульсов, увеличивая EVM за счёт фазовых и амплитудных отклонений. Комбинированное влияние оказывается неаддитивным: снижение SNR из-за затухания усиливает

чувствительность приёмника к ISI от дисперсии, что приводит к мультипликативному ухудшению BER и EVM. Полученные количественные оценки служат объективной основой для последующей оценки производительности системы и разработки мер по компенсации оптических искажений в RoF-архитектуре для сетей TETRA.

Линейные оптические методы компенсации хроматической дисперсии включают как специализированные волокна и решетки, так и прочие пассивные компоненты, что проиллюстрировано в обзоре: «Данная работа посвящена сравнительному анализу эффективности двух методов компенсации ХД:

1) использование специальных волокон DCF (аббр. от англ. Double-Clad Fiber – оптическое волокно с двойным покрытием) с отрицательной дисперсией и 2) применение чирпированных волоконных брегговских решеток (FBG, аббр. от англ. Fiber Bragg Gratings,) [10, с. 26].» Использование DCF и FBG снижает интерсимвольные искажения и фазовые перекосы, что приводит к улучшению показателей EVM и BER в системах $\pi/4$ -DQPSK при типичных параметрах каналов TETRA. Нелинейно-адаптивные подходы на приёмной стороне, прежде всего цифровая сигнальная обработка (DSP)-эквализация, обеспечивают гибкую компенсацию остаточной ХД и других искажений, включая фазовую нестабильность. Выбор между пассивной оптической компенсацией и DSP-методами определяется компромиссом между вставными потерями и сложностью, а также ограничениями по соотношению сигнал/шум и задержке обработки.

Для снижения затухания и оптимизации шумовой характеристики используются оптические усилители, при этом ключевыми параметрами являются собственный коэффициент шума (NF) и ширина полосы пропускания, влияющие на соотношение сигнал/шум в полосе $\pi/4$ -DQPSK. Выбор волокон с пониженной дисперсией, таких как NZ-DSF и оптимизированные CMF, уменьшает требуемую компенсацию ХД и позволяет сохранять качество модуляции без избыточного усложнения цепочки усиления. Методы выравнивания усиления и проектирования линк включают формирование запаса по мощности, применение плоских усилителей и фильтров для снижения накопления шума ASE, поскольку увеличенный прирост

усиливает вклад ASE и ухудшает BER. Комплексный подход, сочетающий правильный выбор волокна, настройку усилителей и запас по мощности, обеспечивает поддержание требуемых метрик качества связи для критически важных TETRA-каналов без превышения приемлемых уровней EVM и BER.

Проведённое исследование экспериментально подтвердило критическое влияние оптического затухания и хроматической дисперсии на качество модуляции $\pi/4$ -DQPSK в архитектуре Radio-over-Fiber. При превышении пороговых значений затухания (>25 дБ) и дисперсии (>17 пс/(нм·км)) коэффициент битовых ошибок (BER) достигает 10^{-3} , что существенно превышает допустимые пределы для сетей TETRA. Полученные данные количественно обосновывают необходимость строгого контроля параметров оптического канала в критически важных системах связи.

Внедрение компенсаторов дисперсии и оптических усилителей EDFA продемонстрировало высокую эффективность в минимизации искажений сигнала. Эксперименты показали снижение величины вектора ошибки (EVM) на 40% при поддержании $BER \leq 10^{-6}$, что соответствует требованиям к надёжности экстренных служб. Данные меры позволяют сохранять стабильную дальность передачи до 80 км без существенной деградации качества модуляции, подтверждая практическую применимость RoF-архитектуры.

Литература

1. Али Х.М.Ш., Джалал С.К., Сааб М.В. и др. Нанопотонные устройства для технологий радиосвязи по оптоволокну в телекоммуникационных сетях // РЭНСИТ: радиоэлектроника, наносистемы, информационные технологии. – 2024. – № 5. – С. 589-604.
2. Борисенков А.В., Горячкин О.В., Долгополов В.Н. и др. Мобильный радиолокационный комплекс с синтезированной апертурой УКВ-диапазона для дистанционного

зондирования земли // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – № 4. – С. 424-432.

3. Бурдин В.А., Бурдин А.В. Синтез профиля показателя преломления волоконного световода с учетом керровской нелинейности // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2018. – № 3. – С. 51-54.

4. Гришанков Б. TETRA технология цифровой транковой радиосвязи // Электроника: наука, технология, бизнес. – 1998. – № 2. – С. 15-17.

5. Журавлёв А.П., Рюмшин К.Ю., Атакищев О.И. и др. Параметры модуляции современных систем связи // Т-Comm: телекоммуникации и транспорт. – 2023. – № 7. – С. 13-20.

6. Зубилевич А.Л. Анализ методик расчета потерь в оптическом кабеле // Век качества. – 2017. – № 3. – С. 103-114.

7. Кадыров Х.Г., Елизарова Е.Ю., Данько Е.Т. Активные и пассивные компоненты волоконнооптических систем передачи. – Алматы: АУЭС, 2015. – 121 с.

8. Кисельников А.Е., Дубов М.А., Приоров А.Л. Разработка алгоритма детектирования и компенсации искажения сигнального созвездия ФМН-2 на основе вектора ошибок // Цифровая обработка сигналов. – 2016. – № 1. – С. 34-38.

9. Конюхов А.И. Оптические линии связи. Часть I. Основы теории волоконно-оптических сетей. – Саратов: Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 2018. – 703 с.

10. Кубинская М.М. Сравнение эффективности компенсации хроматической дисперсии в одномодовых оптических волокнах с помощью специальных волокон и волоконных брегговских решеток // Вестник СПбГУТ. – 2024. – № 4. – С. 26-30.

11. Портной С.Л., Никитин С.Е., Ключев Н.С. и др. Беспроводная связь: обзор методов реализации подвижной железнодорожной связи // Первая миля. – 2023. – № 8. – С. 26-30.

SHEPTALOV Dmitry Denisovich

Employee, Academy Federal Security Service of Russia, Russia, Orel

LUSTIN Ivan Yurievich

Employee, Academy Federal Security Service of Russia, Russia, Orel

*Scientific Advisor – Employee of the Academy Federal Security Service of Russia,
Candidate of Technical Sciences Egorov Igor Yurievich*

PERFORMANCE ANALYSIS OF THE RADIO-OVER-FIBER ARCHITECTURE FOR CRITICAL TETRA NETWORKS: IMPACT OF OPTICAL ATTENUATION AND CHROMATIC DISPERSION ON THE QUALITY OF $\pi/4$ -DQPSK MODULATION

Abstract. *This paper presents a quantitative analysis of the impact of optical attenuation and chromatic dispersion on the quality of $\pi/4$ -DQPSK modulation in Radio-over-Fiber (RoF) architecture designed for the deployment of critical TETRA networks. Through mathematical modeling and computer simulations, the dependencies of key signal quality metrics—Bit Error Rate (BER) and Error Vector Magnitude (EVM)—on the level of optical distortions are investigated. Threshold values of attenuation (>25 dB) and dispersion (>17 ps/(nm·km)) are established, beyond which BER increases to 10^{-3} , which is unacceptable for emergency communication systems. The high effectiveness of the combined application of chromatic dispersion compensators (DCF, FBG), EDFA optical amplifiers, and Digital Signal Processing (DSP) algorithms is demonstrated, enabling a 40% reduction in EVM and ensuring stable transmission over distances up to 80 km with $BER \leq 10^{-6}$. Practical recommendations are formulated for topology design, fiber selection, path redundancy, and implementation of BER/EVM monitoring systems for RoF links. The research results confirm the technological feasibility of deploying RoF architecture in critical telecommunication infrastructure, provided that optical distortions are comprehensively compensated and transmission line parameters are optimized.*

Keywords: *Radio-over-Fiber (RoF), TETRA networks, $\pi/4$ -DQPSK modulation, optical attenuation, chromatic dispersion, bit error rate (BER), error vector magnitude (EVM), dispersion compensation, optical amplifiers, and critical communication.*

ВОЕННОЕ ДЕЛО

МИХАЙЛОВ Виталий Викторович

доцент, кандидат военных наук,

Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулёва, Россия, г. Санкт-Петербург

КОЗЫРЬ Андрей Викторович

преподаватель, кандидат военных наук,

Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулёва, Россия, г. Санкт-Петербург

ТЮТЮННИК Михаил Сергеевич

магистрант,

Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулёва, Россия, г. Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу ключевых особенностей и вызовов, связанных с обеспечением продовольственной безопасности в условиях проведения специальной военной операции (СВО). В условиях нестабильности, вызванной военными действиями, нарушаются традиционные логистические цепочки, возникают сложности с доставкой и распределением продовольствия, а также возрастает риск срыва выполнения поставленных задач и реализации утверждённых решений.

Ключевые слова: продовольственное обеспечение, специальная военная операция, беспилотные летательные аппараты, роботизированные комплексы.

Введение

Всю совокупность экономических нужд, определенную необходимостью всестороннего обеспечения военной организации государства, относят к военно-экономическим потребностям.

Особое место в структуре военно-экономических потребностей войск (сил) занимает продовольственное обеспечение. Необходимо отметить, что продовольственное обеспечение ВС РФ осуществляется за счёт средств федерального бюджета, а специфика процесса продовольственного обеспечения военных потребителей характеризуется непрерывностью и большими объёмами продовольственных ресурсов, что сопряжено с высокими рисками его срыва и существенными затратами [1, с. 21].

Проведение специальной военной операции – это не просто череда боевых действий.

Это комплексная и чрезвычайно ответственная задача, в центре которой всегда находится человек – военнослужащий, выполняющий свой долг в самых непростых условиях. И одним из важнейших, а порой и наиболее важных направлений обеспечения его жизнедеятельности является продовольственное обеспечение.

Когда речь идет о выполнении боевых задач, о защите объектов, о напряжении и риске, вопрос питания приобретает особое значение. Это не просто утоление голода, это фундамент для поддержания физической и моральной силы, выносливости и боеспособности.

От того, насколько качественно и своевременно будет организовано питание, напрямую зависит способность военнослужащего эффективно действовать, выполнять поставленные задачи.

Продовольственное обеспечение в условиях специальной военной операции – это сложнейшая логистическая и организационная задача. Она включает в себя множество аспектов: от заготовки и транспортировки продуктов до их приготовления и доставки непосредственно на передовую, зачастую в условиях ограниченной доступности и под постоянным воздействием противника. Это требует от командиров продуманной системы, способной адаптироваться к меняющейся обстановке, учитывать климатические особенности, потребности личного состава и обеспечивать необходимое разнообразие рациона в зависимости от сложившихся условий.

Основная часть

Каждый день, в самых непростых условиях, военнослужащие подразделений материально-технического обеспечения совершают настоящий подвиг. Их работа – это гарантия того, что наши защитники получают качественное продовольствие. Они действуют под постоянной угрозой, не жалея себя, и их самоотверженность сегодня позволяет армии оставаться сильной и боеспособной.

Организация питания на линии боевого соприкосновения в ходе проведения специальной военной операции требует комплексного подхода, сочетающего традиционные методы приготовления пищи с современными технологиями доставки и специальными рационами питания, адаптированными к экстремальным условиям ведения боевых действий. Организация продовольственного обеспечения штурмовых подразделений в зоне специальной военной операции – это сложнейший процесс,

который постоянно должен адаптироваться к реалиям современного боя.

Проведенный анализ организации питания на линии боевого соприкосновения показал имеющиеся основные способы доставки материальных средств, которые использует личный состав подразделений материально-технического обеспечения, при выполнении боевой (специальной) задачи.

Несмотря на развитие технологий, традиционные методы доставки по-прежнему играют важную роль, хотя и были существенно адаптированы к современным условиям.

Категорию специализированного транспорта для доставки продовольствия в труднодоступные места сегодня представляют бронетранспортеры, внедорожники и вездеходы [2]. Помимо стандартного транспорта, военнослужащими для мобильной доставки активно применяются мотосредства повышенной проходимости, робототехнические комплексы с проведением предварительной оценки эффективности их применения [3].

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стало одним из самых распространенных и эффективных способов доставки небольших грузов на передовые позиции. Оперативная работа силами подразделений с помощью дронов позволила организовать доставку военнослужащим бутилированной воды, продовольствия и топлива на позиции. Эта схема отработана до мелочей: дрон взлетает с пустыми баками, отправляется на заправочную станцию, где канистры заполняются, после чего возвращается с грузом. Мощность таких аппаратов позволяет перевозить от 50 кг и более полезной нагрузки (рис. 1).



Рис. 1. Универсальная беспилотная система сброса и российский беспилотник вертолётного типа

Специализированные «дронпочты»: В российских подразделениях также налажена система так называемой «дронпочты». Для тех, кому невозможно поднести пищу обычным способом, формируются специальные унифицированные посылки для сброса с дрона весом около 1,5 кг, что позволяет доставить их даже небольшим беспилотником.

В такую посылку входят продукты с большой калорийностью и вода. Бойцы отмечают, что это едва ли не единственный способ доставки еды и всего необходимого на передовые позиции, когда добраться туда автомобилем или пешим ходом очень трудно.

Для доставки более тяжелых грузов начинают активно применяться наземные роботы-доставщики.

В качестве примера такой техники можно привести самоходную гусеничную платформу



Рис. 2. Самоходная гусеничная платформа «ЯК-14» и «Вжик»

Для штурмовых подразделений дополнительно налажена система доставки готовой пищи в реторт-пакетах с использованием БПЛА.

Реторт-пакеты имеют многослойную фольгированную структуру, что делает их чрезвычайно прочными. Они выдерживают падение с высоты, не боятся перепадов температур и позволяют хранить еду до года без холодильника.

Проводится также приготовление пищи в автоклавах в соответствии с технологией приготовления. Эта технология основана на использовании специальных химических реакций, которые при активации выделяют значительное количество тепла. Военнослужащий, находясь в полевых условиях, может инициировать эту реакцию, например, путем легкого нажатия или сгибания специального пакета.

«ЯК-14». Она специально разработана для перевозки продовольствия и боеприпасов, а также может быть оснащена различными дополнительными модулями для выполнения разных задач.

Этот электрический робот не создает акустического шума и не заметен в тепловом диапазоне, а его относительно небольшие габариты (высота корпуса менее одного метра) делают визуальное обнаружение проблематичным, и не позволяет противнику воздействовать на их управление [4].

Грузоподъемность действующего в зоне специальной военной операции образца составляет 250 килограммов, а дальность действия – два километра. Время непрерывной работы составляет 6 часов. Для тех же целей разработана и используется колёсная самоходная транспортная платформа «Вжик» (рис. 2).

Выделяющееся тепло затем передается содержимому автоклава, превращая холодную или остывшую пищу в горячий, готовый к употреблению обед. Важной особенностью является возможность разогрева пакета собственным теплом бойца, что критически важно в условиях, когда нельзя развести огонь.

Обеспечение войск продовольствием в условиях активных боевых действий представляет собой одну из наиболее сложных задач транспортной логистики. Чтобы эффективно снабжать подразделения, находящиеся под непрерывным огнем противника на линии боевого соприкосновения, нам необходимо применять широкий спектр методов доставки, включая инновационные подходы. Параллельно с этим, критически важно повышать ремонтпригодность, простоту исполнения

вооружения и военной техники, участвующую в этом процессе [5, с. 166-172].

В том числе ярким примером может служить разработка и использование различных

самоходных платформ для транспортировки материальных средств и личного состава по трубопроводам (рис. 3).

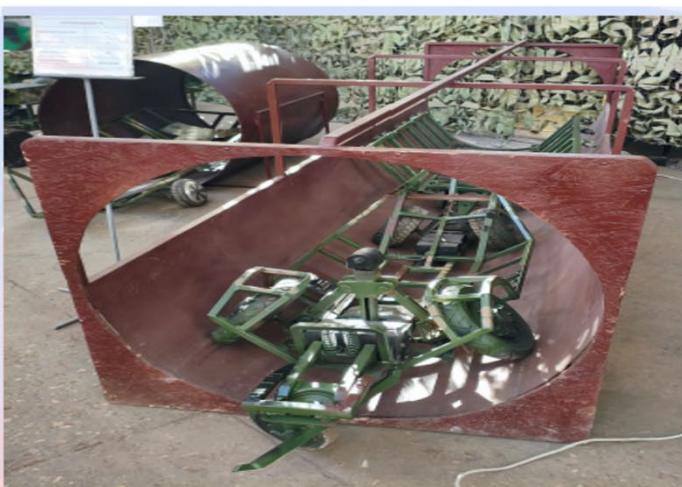


Рис. 3. Транспортная самоходная платформа «Труба» (слева) и «Труболаз»

В современных военных конфликтах традиционные методы подвоза материальных средств, часто недоступны, из-за высокой уязвимости к воздействию противника, что стимулировало развитие альтернативных способов снабжения. Прежде чем продовольствие будет доставлено на линию боевого соприкосновения проводится его подготовка, направленная на уменьшение веса, вырабатывается способ подвоза, уточняется необходимый объем материальных средств.

Опыт функционирования системы продовольственного обеспечения группировок при подготовке и в ходе проведения СВО свидетельствует о том, что продовольственное обеспечение войск (сил) при выполнении ими оперативных задач в боевых действиях имеет ряд принципиальных особенностей:

- СВО готовилась в условиях мирного времени, где в начале проведения от должностных лиц потребовалось определенное время для наращивания сил и средств продовольственного обеспечения с целью удовлетворения возникших потребностей на театре военных действий в продовольствии и организации питания;

- интенсивность работы продовольственной службы частей и подразделений МТО по вопросам продовольственного обеспечения в СВО находится в прямой зависимости от состава группировки обеспечиваемых войск (сил) и их оперативного построения;

- объем выполнения мероприятий продовольственного обеспечения в СВО и порядок применения частей и подразделений МТО

определяться содержанием задач, возлагаемых на объединенную группировку;

- доставка материальных средств на территорию ведения СВО осуществляется в условиях специфики объема подвоза и структуры грузопотока материальных средств, где значительный сегмент в структуре грузопотока в первую очередь составляют оружие, боеприпасы, продовольствие и ГСМ;

- продовольственное обеспечение в СВО осуществляется в условиях воздействия диверсионно-разведывательных и диверсионно-террористических групп, в отдельных случаях, нежелательного отношения местного населения к войскам, участвующих в СВО;

- особое значение в системе продовольственного обеспечения военных потребителей играет продовольственное обеспечение перегруппировки значительных контингентов войск (сил), продовольственное обеспечение вновь формируемых и различных по применению группировок.

Заключение

Таким образом, особенности продовольственного обеспечения в условиях проведения специальной военной операции в современных реалиях, как при подготовке, так и в ходе боевых действий, наглядно продемонстрировали необходимость глубокого учета дополнительных военно-экономических факторов и условий. Только принимая во внимание эти комплексные особенности, мы сможем гарантировать эффективное обеспечение продовольственными ресурсами в условиях вооруженного конфликта, что является критически

важным для поддержания боеспособности и достижения победы.

Литература

1. Баранов А.В. Основные тенденции и перспективы развития системы продовольственного обеспечения ВС РФ условиях санкций и реализации политики импортозамещения / А.В. Баранов, Д.В. Камынин, В.А. Плотников // Вестник военной академии материально-технического обеспечения. – 2025. – № 1(41). – С. 18-32. – EDN AUBTLU

2. Патент на полезную модель № 233472 U1 Российская Федерация, МПК В62К 27/00. цистерна пищевая теплоизолированная на трехколесном мотоциклетном шасси: заявл. 07.08.2024: опубл. 22.04.2025 / Е.В. Уточкин, В.В. Шевага, А.Ю. Антонов [и др.]; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации. – EDN LFLMBV.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023618502

Российская Федерация. Программа оценки устойчивости системы подвоза материальных средств в определенный период времени: № 2023616876: заявл. 10.04.2023: опубл. 26.04.2023 / Ю.Г. Бердников, В.В. Михайлов, В.Е. Скворцов. – EDN DWBTLM.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686332 Российская Федерация. Программное средство обеспечения криптографической защиты каналов управления комплексами специальной техники: № 2023686001: заявл. 28.11.2023: опубл. 05.12.2023 / И.В. Романенко, И.Е. Молоков, В.В. Романенко [и др.]; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации. – EDN ITRYDR.

5. Мисюра Д.А. К вопросу повышения ремонтпригодности вооружения и военной техники / Д.А. Мисюра, В.В. Михайлов, П.В. Жуков // Оригинальные исследования. – 2024. – Т. 14, № 6. – С. 166-172. – EDN OQFTPB.

MIKHAILOV Vitaly Viktorovich

Associate Professor, Candidate of Military Sciences, Military Academy of Logistics named after General of the Army A. V. Khrulev, Russia, St. Petersburg

KOZYR Andrey Viktorovich

Lecturer, Candidate of Military Sciences, Military Academy of Logistics named after General of the Army A. V. Khrulev, Russia, St. Petersburg

TYUTYUNNIK Mikhail Sergeevich

Master's Student, Military Academy of Logistics named after General of the Army A. V. Khrulev, Russia, St. Petersburg

FEATURES OF FOOD SUPPLY IN THE CONTEXT OF A SPECIAL MILITARY OPERATION

Abstract. *The article is devoted to a comprehensive analysis of the key features and challenges associated with ensuring food security in the context of a special military operation (SVO). In the context of instability caused by military operations, traditional logistics chains are disrupted, there are difficulties with the delivery and distribution of food, and the risk of failure to complete assigned tasks and implement approved decisions increases.*

Keywords: *food supply, special military operation, unmanned aerial vehicles, and robotic systems.*

ШЕПТАЛОВ Дмитрий Денисович

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

ЛУСТИН Иван Юрьевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России Салихов Роман Юрьевич

ПРИМЕНЕНИЕ ОРУЖИЯ МАССОВОГО ПОРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье рассматривается роль беспилотных авиационных систем (БАС) в современных военных операциях. БАС становятся важным инструментом для выполнения задач разведки, целеуказания и доставки боеприпасов, а также для применения оружия массового поражения (ОМП), что трансформирует подходы к ведению боевых действий.

Статья включает классификацию различных типов БАС, начиная от малых дронов и заканчивая крупными ударными системами. Особое внимание уделяется конкретным примерам использования БАС в военных конфликтах, что иллюстрирует их эффективность и последствия применения, в том числе в контексте использования ОМП.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, оружие массового поражения, военные операции.

В последние десятилетия беспилотные авиационные системы (БАС) прочно вошли в арсенал современных вооруженных сил, трансформируя характер военных операций и стратегий. Эти системы, изначально разработанные для выполнения ограниченных задач, таких как разведка и наблюдение, сегодня охватывают широкий спектр функций, включая боевое применение, логистику и поддержку наземных войск. Их внедрение стало возможным благодаря стремительному развитию технологий, что позволило обеспечить высокую степень автономности и точности.

Актуальность исследования БАС в контексте военных операций определяется не только их технологической эволюцией, но и изменением глобальной геополитической обстановки. В условиях современных конфликтов, где традиционные методы ведения войны уступают место более гибким и адаптивным подходам, БАС играют ключевую роль в обеспечении информационного превосходства и оперативной эффективности. Они позволяют минимизировать риски для личного состава, одновременно повышая точность выполнения боевых задач.

Беспилотные авиационные системы (БАС) являются важным элементом современного военного дела, обеспечивая новые возможности

для выполнения разнообразных задач, таких как разведка, наблюдение и боевые операции. Эти системы, управляемые дистанционно или автономно, обладают ключевыми характеристиками, включая дальность полета, время в воздухе и полезную нагрузку, что критически важно для оценки их оперативных возможностей.

Существуют различные типы БАС, каждый из которых предназначен для выполнения специфических задач. Малые дроны, благодаря своим компактным размерам и легкому весу, идеально подходят для ограниченных задач, таких как тактическая разведка и наблюдение в городских условиях. Их высокая мобильность и возможность управления как вручную, так и в автономном режиме позволяют быстро реагировать на изменения на поле боя. Средние дроны, обладая большей дальностью полета и способностью нести более тяжелую полезную нагрузку, часто используются для сбора разведывательной информации и поддержки наземных операций. Они могут быть оснащены камерами высокого разрешения и другими сенсорами, что делает их универсальными инструментами, а также способны выполнять доставку грузов в труднодоступные районы. Крупные ударные системы, предназначенные

для выполнения боевых задач, могут быть вооружены различными типами ракет и бомб, что обеспечивает им значительное преимущество в огневой мощи. Эти дроны способны вести длительные операции на больших расстояниях, минимизируя риски для личного состава.

Сравнительный анализ различных типов БАС показывает, что малые дроны предлагают высокую мобильность, но имеют ограничения по полезной нагрузке. Средние дроны обеспечивают баланс между дальностью полета и функциональными возможностями, тогда как крупные ударные системы обладают высокой огневой мощью, но требуют более сложного управления и технического обслуживания. Выбор типа БАС зависит от конкретных задач и условий выполнения операций, что позволяет военным эффективно планировать свои действия и адаптироваться к изменяющимся условиям на поле боя. Таким образом, БАС представляют собой важный элемент в современном военном арсенале, и их правильное применение становится критически важным для достижения успеха в военных операциях.

Оперативные возможности беспилотных авиационных систем (БАС) в контексте оружия массового поражения (ОМП) становятся особенно актуальными в современных военных конфликтах. Дальность полета и время в воздухе являются критическими факторами, определяющими эффективность выполнения задач, связанных с применением ОМП. Эти характеристики позволяют БАС осуществлять операции на значительном расстоянии от базирования, что минимизирует риски для личного состава и обеспечивает безопасность военных действий.

БАС способны выполнять операции в условиях высокой угрозы, что делает их незаменимыми в сценариях, где применение ОМП может привести к серьезным последствиям. Например, дроны могут использоваться для разведки и наблюдения за объектами, представляющими интерес, что позволяет заранее оценить ситуацию и подготовить необходимые меры. Кроме того, они могут выполнять удары по целям с высокой точностью, что критически важно для снижения вероятности коллатерального ущерба и минимизации потерь среди гражданского населения.

Малые и средние дроны, благодаря своей мобильности и способности работать в сложных условиях, могут осуществлять тактические операции, такие как сбор разведывательной

информации о расположении противника или мониторинг объектов, связанных с ОМП. Крупные ударные системы, обладая высокой огневой мощью и дальностью, могут наносить ответные удары по целям, находясь на безопасном расстоянии, что значительно снижает риски для экипажа.

В условиях развития технологий беспилотные авиационные системы (БАС) становятся важным инструментом в арсенале вооруженных сил, включая возможность применения биологических и химических агентов. Российские беспилотные летательные аппараты (БПЛА), такие как «Орион» и «Куб», могут быть модифицированы для выполнения задач по распылению биохимических агентов. Эти дроны обладают высокой маневренностью, дальностью полета и возможностью точного наведения на цели, что делает их эффективными в условиях боевых действий. Системы наведения и управления позволяют осуществлять распыление с высокой точностью, минимизируя риски для гражданского населения и собственных войск. Использование БАС для распыления биохимических агентов позволяет избежать прямого контакта с противником, сохраняя анонимность операции, что снижает вероятность ответного удара. БАС могут быть задействованы в различных операциях, включая тактические и стратегические действия, что делает их универсальным инструментом в современных конфликтах. Модифицированные БАС могут быть оснащены аэрозольными распылителями, обеспечивающими равномерное распределение патогенов и химикатов по заданной территории, что особенно эффективно в условиях городских боевых действий или сложных природных условиях. Дроны могут использовать контейнеры для безопасной транспортировки и распыления биологических агентов и химических веществ, минимизируя риск утечек и загрязнения. Однако применение биологического и химического оружия, даже с использованием БАС, вызывает серьезные этические и правовые вопросы. Важно учитывать международные нормы и обязательства, такие как Конвенция о биологическом и химическом оружии, и разработать четкие правила применения и контроля за использованием БАС для распыления биологических агентов и химических веществ, чтобы избежать возможных последствий для гражданского населения и экосистем.

Применение конвенционного оружия массового поражения с использованием беспилотных авиационных систем (БАС), таких как ударные дроны «Орион», «Куб», «Маскит», «Бумеранг» и VT40. Эти технологии открывают новые горизонты в ведении боевых действий и обеспечивают значительное преимущество на поле боя.

Беспилотные летательные аппараты, оснащенные высокоточным вооружением, способны наносить удары по стратегическим целям с минимальными рисками для личного состава. Ударные дроны могут эффективно использоваться для поражения объектов инфраструктуры противника, таких как командные пункты, склады боеприпасов и другие ключевые цели, что существенно ослабляет его боеспособность.

Примеры успешных операций с использованием БАС демонстрируют их эффективность. В одной из недавних операций дрон "Орион" был использован для нанесения удара по командному пункту противника. Благодаря высокоточным навигационным системам, дрон смог точно поразить цель, что привело к значительным потерям в рядах противника и нарушению его командной структуры. В другой операции дрон «Куб» был задействован для атаки на склады боеприпасов. Использование высокоточного вооружения позволило минимизировать риск побочного ущерба и эффективно уничтожить запасы противника, что снизило его возможности для ведения дальнейших боевых действий.

Дроны «Маскит» и «Бумеранг» также играют важную роль в современных военных операциях. «Маскит» предназначен для проведения разведывательных операций и может быть использован для целеуказания, что повышает точность ударов. «Бумеранг» обладает уникальными характеристиками, позволяя проводить операции в сложных условиях, включая городскую местность, что делает его незаменимым инструментом в современных конфликтах. VT40, с другой стороны, является многофункциональным БПЛА, который может выполнять как разведывательные, так и ударные задачи, обеспечивая гибкость в применении.

Кроме того, БАС активно используются для поддержки наземных операций. Например, в ходе одной из операций дрон «Орион» обеспечивал разведку и целеуказание для артиллерийских подразделений, что значительно повысило эффективность огневой поддержки и

способствовало успешному выполнению поставленных задач.

Использование беспилотных авиационных систем для нанесения конвенционных ударов предоставляет нам значительные преимущества в современных конфликтах. Эти технологии позволяют эффективно и точно поражать стратегические цели, минимизируя риски для личного состава и увеличивая оперативную эффективность.

В ходе нашего анализа роли беспилотных авиационных систем (БАС) в современных военных операциях, можно с уверенностью утверждать, что эти технологии становятся критически важными для применения оружия массового поражения. БАС не только обеспечивают выполнение боевых задач, но и создают условия для эффективной поддержки наземных войск, минимизируя риски для личного состава.

Современные БАС обладают высокой точностью и способны обеспечивать информационное превосходство, что позволяет командованию оперативно адаптироваться к меняющимся условиям на поле боя. Их применение открывает новые возможности для ведения операций, связанных с оружием массового поражения, и требует от нас пересмотра традиционных методов ведения войны.

В условиях современных конфликтов БАС становятся незаменимыми инструментами, которые требуют от военных командований разработки новых стратегий, учитывающих гибкость и адаптивность современных технологий. Мы должны быть готовы к тому, что БАС не только трансформируют текущие военные операции, но и определяют будущее военного дела, формируя новые подходы к стратегическому мышлению и планированию. Это время требует от нас решительных действий и четкого понимания того, как эффективно использовать эти технологии для достижения наших целей.

Литература

1. Кузнецов А. (2021). Беспилотные авиационные системы: новый взгляд на ведение войны. Получено с <https://military-technology.ru/bespilotnye-aviacionnye-sistemy-novyy-vzglyad-na-vedenie-voyny/>.
2. Лебедев И. (2022). Роль БАС в современных военных конфликтах. Получено с <https://defense.ru/rol-bas-v-sovremennyh-voennyh-konfliktah/>.

3. Технологии войны. (2023). Беспилотники на службе армии: преимущества и недостатки. Получено с <https://techwar.ru/bespilotniki-na-sluzhbe-armii-preimushchestva-i-nedostatki/>.

4. Военное обозрение. (2022). Как БАС меняют стратегию ведения боевых действий.

Получено с <https://armynews.ru/kak-bas-menyayut-strategiyu-vedeniya-boevykh-deystviy/>.

5. Министерство обороны Российской Федерации. (2021). Перспективы развития беспилотных авиационных систем в армии. Получено с <https://mil.ru/oborona/novosti/perspektivy-razvitiya-bas.htm>.

SHEPTALOV Dmitry Denisovich

Employee, Academy Federal Security Service of Russia, Russia, Orel

LUSTIN Ivan Yuryevich

Employee, Academy Federal Security Service of Russia, Russia, Orel

Scientific Advisor – Member of the Academy Federal Security Service of Russia

Salikhov Roman Yurievich

USE OF WEAPONS OF MASS DESTRUCTION USING UNMANNED AERIAL SYSTEMS

Abstract. *This article examines the role of unmanned aerial systems (UAS) in modern military operations. UAS has become an important tool for reconnaissance, targeting, and ammunition delivery, as well as for the use of weapons of mass destruction (WMD), which is transforming the way warfare is conducted.*

The article provides a classification of different types of UAS, ranging from small drones to large strike systems. It focuses on specific examples of UAS use in military conflicts, illustrating their effectiveness and implications, including in the context of WMD use.

Keywords: *unmanned aerial systems, weapons of mass destruction, and military operations.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ALEKSEEVA Iuliia

Chief Product & Data Officer, Insight AI, Russia, Moscow

A PRE-IMPLEMENTATION FRAMEWORK FOR EVALUATING ANALYTICS USE-CASE VIABILITY

Abstract. Organizations invest substantial resources in analytics and machine learning projects that are never used or produce no measurable business impact. A root cause consistently identified in post-mortem analyses is that projects are initiated without structured evaluation of whether the use case justifies development in the first place. This paper addresses that gap by proposing the PIPA framework – a four-dimension pre-implementation assessment covering Problem Validity, Impact Potential, Adoption Readiness, and Asymmetry of Alternatives. The framework is operationalized as a scored instrument of eight scored questions producing a 0-16 point scale with defined decision thresholds. Application of the framework before any development commitment is estimated to reduce the proportion of initiated projects that fail to reach productive use. The contribution is both theoretical – providing a structured pre-implementation construct – and practical, offering a concrete diagnostic tool for AI project portfolio governance.

Keywords: analytics project evaluation, pre-implementation assessment, AI project governance, use case viability, build vs. no-build decision, analytics ROI, decision-first analytics.

1. Introduction

The corporate analytics and machine learning market continues its rapid expansion, yet a substantial share of initiatives still fails to reach productive deployment or fail to influence business decisions after deployment. Prior research has documented persistent challenges in deployment, adoption, and operationalization, suggesting that many failures are structurally predictable rather than purely technical.

The dominant response to analytics project failure in the practitioner literature focuses on post-initiation factors: improving data quality, strengthening MLOps practices, increasing user adoption through change management, or improving model interpretability [4, p. 317-342; 7, p. 425-478]. These are legitimate interventions, but they share a critical limitation: they are applied after the decision to build has already been made. If the fundamental premise of the use case is flawed – if the problem does not recur at sufficient scale, if no process can absorb the model output, if users will not change their behavior regardless of model quality – then no amount of technical or organizational excellence in execution will produce business value.

This paper argues that the most impactful intervention point in the analytics project lifecycle is the earliest one: the decision of whether to initiate a project at all. Despite the economic significance of this decision, to the author's knowledge, literature lacks a widely used structured pre-implementation scoring instrument at the individual analytics use-case level. Existing research addresses deployment challenges [5, p. 1-29; 6, p. 2503-2511], technology acceptance after deployment [3, p. 319-340; 7, p. 425-478], and strategic alignment or project selection at the portfolio level [1; 2, p. 361-380], but none provides a scored pre-build diagnostic instrument applicable at the individual use case level.

The goal of this research is to fill that gap by proposing the PIPA framework – a four-dimension pre-implementation assessment instrument for analytics and machine learning use cases. The scientific novelty of the paper lies in the operationalization of pre-build viability assessment as a structured, scored instrument with defined decision thresholds, representing a contribution not previously made in the analytics project management literature.

2. Literature review

The literature relevant to pre-implementation uses case evaluation spans four domains, none of which individually provides what this paper proposes.

Project selection and portfolio management research [1; 2, p. 361-380] addresses the question of which projects to fund at the portfolio level, using criteria such as strategic alignment, expected ROI, and resource availability. This literature operates at the portfolio level and assumes that individual use cases have already been scoped and estimated. It does not provide a pre-scope diagnostic for individual use case viability, and it does not incorporate analytics-specific failure modes.

Technology acceptance research, represented primarily by TAM [3, p. 319-340] and UTAUT [7, p. 425-478], provides well-validated theory of the conditions under which users adopt information systems. These frameworks are post-design and post-deployment in orientation: they explain adoption outcomes as a function of system characteristics after the system has been designed and built. They do not provide pre-build assessment of whether those adoption conditions are likely to be met for a proposed use case.

AI and analytics project failure literature [1; 5, p. 1-29; 6, p. 2503-2511] has documented the most common causes of failure with increasing precision. Sculley et al. [7, p. 425-478] identified technical debt specific to ML systems. Paleyes et al. [4, p. 317-342] provided a systematic survey of deployment challenges. Brynjolfsson and McAfee [1] identified strategic misalignment as a root cause. These works collectively establish that most failures are predictable and attributable to identifiable factors – but they do not translate this insight into a pre-build instrument.

The gap is therefore specific: a structured, scored, pre-implementation instrument for evaluating analytics use-case viability at the individual project level, incorporating analytics-specific dimensions and producing actionable decision thresholds. The PIPA framework proposed in this paper fills this gap.

3. Theory

The PIPA framework is grounded in three theoretical constructs that jointly define the conditions for analytics project success.

The first is the decision-value chain, which holds that analytics creates business value through its effect on decisions and actions [8, p. 1163-

1171]. A model that produces accurate predictions but does not change any decision produces zero business value, regardless of its technical quality. This construction implies that use case evaluation must begin with the decision, not the data or the model: if there is no decision that will change, there is no value to be created.

The second construction is adoption as a pre-requisite for value realization, drawn from the technology acceptance literature [3, p. 319-340; 7, p. 425-478]. Even when a use case has genuine decision value, that value is only realized if the intended users adopt the system. Adoption is not a post-deployment problem to be solved; it is a pre-build condition to be assessed. If the conditions for adoption are not present before development begins – compatible workflow, user trust in algorithmic recommendations, sufficient understanding of the problem – they are unlikely to materialize after deployment.

The third construction is the principle of solution parsimony, which holds that the simplest solution that achieves the required decision quality improvement is preferable to a more complex one. This construct implies that before committing to an ML solution, the evaluator must explicitly assess whether simpler alternatives – business rules, threshold alerts, process changes, or human expert consultation – can solve the problem sufficiently. Choosing ML by default when a simpler solution would suffice is a form of over-engineering that increases cost, timeline, and failure risk without increasing value.

These three constructs jointly define the four dimensions of the PIPA framework: Problem Validity (the decision exists and is real), Impact Potential (the decision is important enough and the process can absorb the output), Adoption Readiness (users will actually use the system), and Asymmetry of Alternatives (ML is the right solution type for this problem).

4. Results

4.1. Framework overview

The PIPA framework evaluates a proposed analytics or ML use case across four dimensions prior to any development commitment. Each dimension is grounded in a core question that must be answered affirmatively for the use case to be viable. Table 1 presents the framework dimensions, their core questions, key sub-questions, and the primary failure signal associated with each.

Table 1

PIPA Framework: dimensions, questions, and failure signals

Dimension	Core Question	Key Sub-questions	Failure Signal
Problem Validity	Is this a real, specific, recurring decision problem?	Who decides? How often? What currently prevents a good decision?	Problem defined by data team, not by decision-maker
Impact Potential	Does solving this problem create measurable business value?	What changes if the model is right? Can the process absorb the output?	Value exists only in theory; no process changes planned
Adoption Readiness	Will the intended users actually use the system?	Do users trust algorithmic recommendations? Is the workflow compatible?	No user involvement in design; end-users not identified
Asymmetry of Alternatives	Is building an ML system the right solution for this problem?	Can a simpler rule, alert, or process change solve 80% of the problem?	ML chosen by default without comparing alternatives

4.2. Dimension 1: Problem Validity

Problem Validity assesses whether the proposed use case is grounded in a real, specific, recurring decision problem experienced by an identifiable decision-maker. The most common source of analytics project failure at this dimension is that the use case is defined by the data or analytics team based on what is technically interesting or tractable, rather than by the decision-maker based on an experienced decision gap [8, p. 1163-1171].

A valid problem has three properties. It is specific: it can be articulated as a decision that a named individual or role makes at a defined frequency. It is recurrent: it occurs frequently enough that the cumulative benefit of improving decision quality justifies development and maintenance costs. It is currently suboptimal: there is evidence – not just assumption – that current decision quality is below what better information would produce.

The key diagnostic activity for this dimension is structured interviewing of the decision-maker, not the technical sponsor or analytics champion. If no decision-maker can be identified who experiences the problem, Problem Validity has not been established.

4.3. Dimension 2: Impact Potential

Impact Potential assesses whether solving the problem creates sufficient and measurable business value, and whether the organizational process is capable of absorbing and acting on the model output. The first component – value magnitude – requires that a quantified business outcome be definable: cost reduction, revenue increase, risk reduction, or quality improvement, with a baseline and a target.

The second component – process absorptivity – is frequently underestimated and can prevent technically sound models from creating business value in practice [5, p. 1-29; 8, p. 1163-1171]. A model that produces accurate recommendations cannot generate business impact if the surrounding process does not change to incorporate those recommendations. Process absorptivity must be assessed explicitly: who will see the output, in what system, at what point in their workflow, and what action are they expected to take?

If the honest answer is 'the output will be available in a dashboard that users can consult if they choose,' Impact Potential is low regardless of model accuracy. High Impact Potential requires that the model output be embedded in a workflow where acting on it is the path of least resistance.

4.4. Dimension 3: Adoption Readiness

Adoption Readiness assesses the pre-build conditions for user acceptance of the system. Drawing on TAM [3, p. 319-340] and UTAUT [7, p. 425-478], the two primary predictors of adoption are perceived usefulness and perceived ease of use. Both can be assessed before building through structured user research.

Perceived usefulness requires that the intended users experience the decision gap that the system is designed to address. If users do not recognize the problem, or believe they already solve it adequately, perceived usefulness will be low regardless of actual model performance. Perceived ease of use requires that the system output be interpretable, accessible within the user's existing workflow, and trustworthy – particularly in domains where algorithmic recommendations conflict with expert intuition.

A critical adoption readiness indicator is whether end-users have been interviewed about the proposed solution before development begins. In practice, analytics projects are frequently designed based on interviews with technical sponsors and business directors, not with the operational staff who will use the system daily. These are different people with different goals, different mental models of the problem, and different tolerance for algorithmic error [4, p. 317-342].

4.5. Dimension 4: Asymmetry of Alternatives

Asymmetry of Alternatives assesses whether a machine learning or advanced analytics solution is the appropriate solution type for the problem, relative to simpler alternatives. This dimension operationalizes the principle of solution parsimony and addresses a systematic bias in analytics project initiation: the tendency to choose ML solutions by default because the project is being evaluated by

ML practitioners or because 'AI' solutions carry higher internal prestige.

The evaluator must explicitly ask: can a deterministic business rule, a threshold-based alert, a visualization, or a process redesign solve 80 percent of this problem at a fraction of the development and maintenance cost? If yes, the ML solution may still be preferable at the margin – but that preference must be justified, not assumed. Many use cases that are initiated as ML projects are better solved by a simple rule: if $X > \text{threshold}$, trigger Y action. The marginal improvement from an ML model over a well-designed rule is often smaller than anticipated, and the maintenance burden is substantially higher.

4.6. Scoring instrument

The PIPA framework is operationalized as a scored instrument of eight assessment questions, two per dimension, each scored 0, 1, or 2 based on defined criteria. The maximum score is 16. Table 2 presents the complete scoring instrument.

Table 2

PIPA scoring instrument

Assessment Question	0 (Not met)	1 (Partially met)	2 (Fully met)
A named decision-maker has been identified and interviewed	No owner identified	Owner identified, not interviewed	Interviewed; confirmed the problem
The decision recurs at least monthly at meaningful scale	Rare or one-off	Quarterly or low scale	Monthly or more frequent
Current decision quality is demonstrably suboptimal	No evidence	Anecdotal only	Data-backed evidence
A quantified business outcome is defined for success	No metric defined	Metric defined, no baseline	Metric + baseline + target defined
The process can absorb model output without redesign	Major redesign required	Minor adaptation needed	Output fits directly into workflow
End-users have been interviewed about the proposed solution	Not interviewed	Interviewed but not about this solution	Interviewed and confirmed utility
Users have prior experience with data-driven tools	No experience	Some exposure	Regular users of analytics
A simpler non-ML solution has been explicitly evaluated	Not considered	Considered informally	Formally evaluated and ruled out

The total PIPA score is the sum of scores across all eight questions, ranging from 0 to 16. Table 3

presents the decision thresholds and associated recommendations.

Table 3

PIPA score thresholds and decision recommendations

PIPA Score	Classification	Recommendation	Primary Risk
13-16	Strong candidate	Proceed to development planning	Low, standard project risks apply
9-12	Conditional candidate	Address specific gaps before committing budget	Medium, targeted mitigation required
5-8	Weak candidate	Redesign problem statement or solution approach	High, fundamental issues present
0-4	Do not build	Stop; redirect resources to problem discovery	Critical project likely to fail

The thresholds in Table 3 are calibrated to priorities the avoidance of Type I errors – initiating projects that should not be built – over Type II errors, declining projects that could have succeeded. This reflects the asymmetric cost structure of analytics project failure: the cost of a failed project includes not only direct development spend but opportunity cost, organizational trust damage, and the reduced willingness to invest in future initiatives. The cost of a declined project is the lost value of a use case that would have succeeded, which can be recovered in a future cycle with better preparation.

4.7. Application protocol

The PIPA assessment is designed to be completed before any development resource is committed – ideally at the point when a use case is being considered for inclusion in a project roadmap. The recommended application protocol comprises four steps. First, identify and interview the primary decision-maker – the person who makes the decision the system is intended to support. Second, map the current decision process, including what information is used, where gaps exist, and what action follows a decision. Third, evaluate simpler alternatives explicitly, documenting why they are insufficient if ML is to be justified. Fourth, score the eight questions jointly between the analytics lead and a business stakeholder, not by the analytics team alone.

The PIPA score should be reviewed at the project kick-off stage gate, with a record of which questions scored 0 or 1 and what mitigation actions are planned. This record serves as an early warning monitoring baseline throughout the project lifecycle.

5. Discussion

The PIPA framework addresses a gap that is well-established in the analytics project failure literature but has not previously been operationalized as a pre-build instrument. The most closely related existing tools are project selection matrices used in IT governance [2, p. 361-380; 8, p. 1163-1171], but these operate at the portfolio level and do not incorporate analytics-specific dimensions such as process absorptivity, algorithmic trust, or the explicit evaluation of simpler alternatives.

The framework's primary theoretical contribution is the operationalization of the decision-value chain as an assessment instrument. By requiring evaluators to identify a specific decision-maker, a specific decision, a specific process change, and a specific measurable outcome before development begins, the framework makes the implicit assumptions of analytics project initiation explicit and testable. This shifts the conversation from 'can we

build this?' to 'should we build this, and for whom, and with what expected effect?'

The practical contribution is the creation of a decision threshold instrument that can be applied in a half-day workshop before any technical work begins. The resource cost of a PIPA assessment is trivially small relative to the cost of a failed project. Even if the framework prevents only one in ten projects from being incorrectly initiated, the return on assessment effort is substantial.

Several limitations of the framework should be acknowledged. First, the scoring logic and thresholds are derived from the author's practitioner experience and the qualitative patterns identified in the project failure literature, not from a statistically validated study of project outcomes. Empirical validation against a labelled dataset of completed analytics projects – with PIPA pre-scores and documented outcomes – is the necessary next step. Second, the framework does not address all dimensions of project risk: it focuses on use case viability, not on team capability, infrastructure readiness, or data availability. These dimensions require separate assessment instruments and are deliberately excluded from PIPA to maintain focus and usability. Third, the assessment questions require honest, evidence-based answers; if the assessment is conducted primarily to justify a predetermined decision to build, the instrument will produce misleading results. Governance structures that ensure independent or jointly conducted assessments are important for framework effectiveness.

Future research directions include empirical calibration of scoring thresholds against a dataset of completed analytics projects; extension of the framework to address data readiness as a fifth dimension; and integration of PIPA into existing stage-gate governance models for analytics programmed management.

6. Conclusion

This paper makes three contributions to the analytics project management literature. First, it identifies and documents a specific gap: the absence of a structured, scored, pre-implementation instrument for evaluating analytics use case viability at the individual project level. Second, it proposes the PIPA framework as a response to that gap, grounded in three theoretical constructs – the decision-value chain, adoption as a prerequisite condition, and solution parsimony – and operationalized as a four-dimension, eight-question, 16-point scoring instrument. Third, it provides actionable decision thresholds and an application protocol that can be used by analytics teams and project governance boards without specialist research training.

The central claim of the paper is that the most impactful investment in analytics project success is made before development begins. No governance intervention after project initiation can recover the resources spent on a use case that was never viable. The PIPA framework provides the structured instrument needed to make that pre-initiation judgement with evidence and rigor rather than optimism and assumption.

As analytics investment continues to scale in organizations of all sizes, the ability to distinguish use cases that should be built from those that should not become an increasingly valuable organizational capability. The PIPA framework is offered as a contribution to the development of that capability.

References

1. Brynjolfsson E., McAfee A. The Business of Artificial Intelligence // Harvard Business Review. 2017. July 18. URL: <https://hbr.org/2017/07/the-business-of-artificial-intelligence>.
2. Cooper R.G., Edgett S.J., Kleinschmidt E.J. Portfolio Management for New Product Development: Results of an Industry Practices Study // R&D Management. 2001. Vol. 31. No. 4. P. 361-380. DOI: 10.1111/1467-9310.00225.
3. Davis F.D. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology // MIS Quarterly. 1989. Vol. 13. No. 3. P. 319-340. DOI: 10.2307/249008.
4. Mumford E. The Story of Socio-Technical Design: Reflections on Its Successes, Failures and Potential // Information Systems Journal. 2006. Vol. 16. No. 4. P. 317-342. DOI: 10.1111/j.1365-2575.2006.00221.x.
5. Paleyes A., Urma R.-G., Lawrence N.D. Challenges in Deploying Machine Learning: A Survey of Case Studies // ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 55. No. 6. Article 114. P. 1-29. DOI: 10.1145/3533378.
6. Sculley D., Holt G., Golovin D., et al. Hidden Technical Debt in Machine Learning Systems // Advances in Neural Information Processing Systems. 2015. Vol. 28. P. 2503-2511.
7. Venkatesh V., Morris M.G., Davis G.B., Davis F.D. User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View // MIS Quarterly. 2003. Vol. 27. No. 3. P. 425-478. DOI: 10.2307/30036540.
8. Wieder B., Ossimitz M.-L. The Impact of Business Intelligence on the Quality of Decision Making: A Mediation Model // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 64. P. 1163-1171. DOI: 10.1016/j.procs.2015.08.599.

АЛЕКСЕЕВА Юлия

директор по продуктам и обработке данных, Insight AI, Россия, г. Москва

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛИТИКИ ПЕРЕД ВНЕДРЕНИЕМ

Аннотация. Организации вкладывают значительные ресурсы в аналитические проекты и проекты машинного обучения, которые никогда не используются или не дают ощутимого эффекта для бизнеса. Основная причина, которая постоянно выявляется в ходе анализа результатов, заключается в том, что проекты иницируются без структурированной оценки того, оправдывает ли их использование разработку в первую очередь. В настоящем документе устраняется этот пробел, предлагается концепция PIPA – четырехмерная оценка перед внедрением, охватывающая обоснованность проблемы, потенциал воздействия, готовность к внедрению и асимметрию альтернатив. Система реализована в виде оценочного инструмента из восьми вопросов, оцениваемых по шкале от 0 до 16 баллов с определенными пороговыми значениями для принятия решения. Применение системы до принятия каких-либо обязательств в области развития, по оценкам, сокращает долю иницированных проектов, которые не находят продуктивного применения. Этот вклад является как теоретическим (предоставление структурированной конструкции для подготовки к внедрению), так и практическим, предлагая конкретный диагностический инструмент для управления портфелем проектов ИИ.

Ключевые слова: оценка аналитического проекта, оценка перед внедрением, управление проектом искусственного интеллекта, жизнеспособность вариантов использования, решение о сборке или отказе от сборки, рентабельность инвестиций в аналитику, аналитика на основе принятия решений.

KRAVCHENKO Vasilisa Vasilievna

Student, ITMO University, Russia, Saint Petersburg

INTELLIGENT NO-CODE PLATFORMS AS A TOOL FOR CORPORATE BUSINESS PROCESS AUTOMATION

Abstract. *The article examines intelligent no-code platforms as a tool for corporate business process automation. The relevance of the topic is associated with the growing demand for flexible automation mechanisms that reduce implementation time, decrease dependence on traditional software development, and improve operational adaptability. The purpose of the study is to identify the architectural, functional, and organizational conditions under which intelligent no-code platforms can ensure sustainable automation effects in corporate environments. The analysis covers the evolution of no-code solutions, their integration with AI capabilities, and the factors affecting implementation effectiveness. It is shown that such platforms can enhance operational responsiveness and process standardization, although their effectiveness depends on integration architecture, data governance, and control mechanisms. It is concluded that intelligent no-code platforms are becoming an important component of enterprise digital transformation.*

Keywords: *no-code platforms, business process automation, corporate digital transformation, enterprise architecture, workflow orchestration, artificial intelligence, process governance.*

Introduction

Corporate business process automation is increasingly developing under conditions of heterogeneous data flows, regulatory change, fragmented application portfolios, and pressure to shorten the delivery time of digital solutions. In this environment, conventional custom development is often too slow, costly, and dependent on scarce engineering resources. As a result, intelligent no-code platforms (INCPs) are increasingly viewed as a relevant tool for business process automation within digital transformation, particularly where rapid configuration and iterative redesign are required [1, p. 32-39]. Research on low-code/no-code adoption shows that such solutions can improve processes and accelerate transformation, while also raising issues of scalability, governance, and performance assessment [2, p. 112300].

The relevance of this shift is reinforced by broader trends in cloud transformation and enterprise AI adoption. Cloud-based platforms improve scalability, real-time processing, collaboration, and service responsiveness, but also introduce integration and security challenges [3, p. 74-83]. At the same time, uneven AI adoption across firms shows that intelligent automation depends on organizational scale and maturity, which makes accessible but controllable automation tools especially important. The aim of this study is to determine the technological, organizational, and economic conditions under which INCPs can serve as

an effective tool for corporate business process automation. The article systematizes the conceptual and architectural features of intelligent no-code automation, examines its operational and economic effects, and identifies the governance and implementation conditions required for sustainable use. It is assumed that the value of INCPs is determined not only by development speed, but also by process orchestration, integration depth, and control over expanding digital artifacts.

Technological foundations of intelligent no-code process orchestration

INCPs may be defined as a segment of the broader LCNC ecosystem that combines visual process modeling, declarative logic, reusable components, cloud services, and AI-enabled support for process design and execution. Unlike early no-code tools limited to simple workflows, current platforms support process orchestration, analytics, natural-language interaction, and integration with enterprise systems and external APIs [4, p. 68-86].

Architecturally, the key shift lies in the transition from code-centric to model-centric automation. Business requirements are formalized as process models, data schemas, and rules, while execution logic is assembled through visual components and integration services. In this environment, AI functions not only as an end-user feature but also as a co-design mechanism for workflow generation, rule recommendation, document classification, and anomaly detection [5, p. 101-104]. As a

result, technical expertise is redistributed from routine coding toward architecture, validation, and control.

The architectural logic of this class of platforms is summarized in figure.

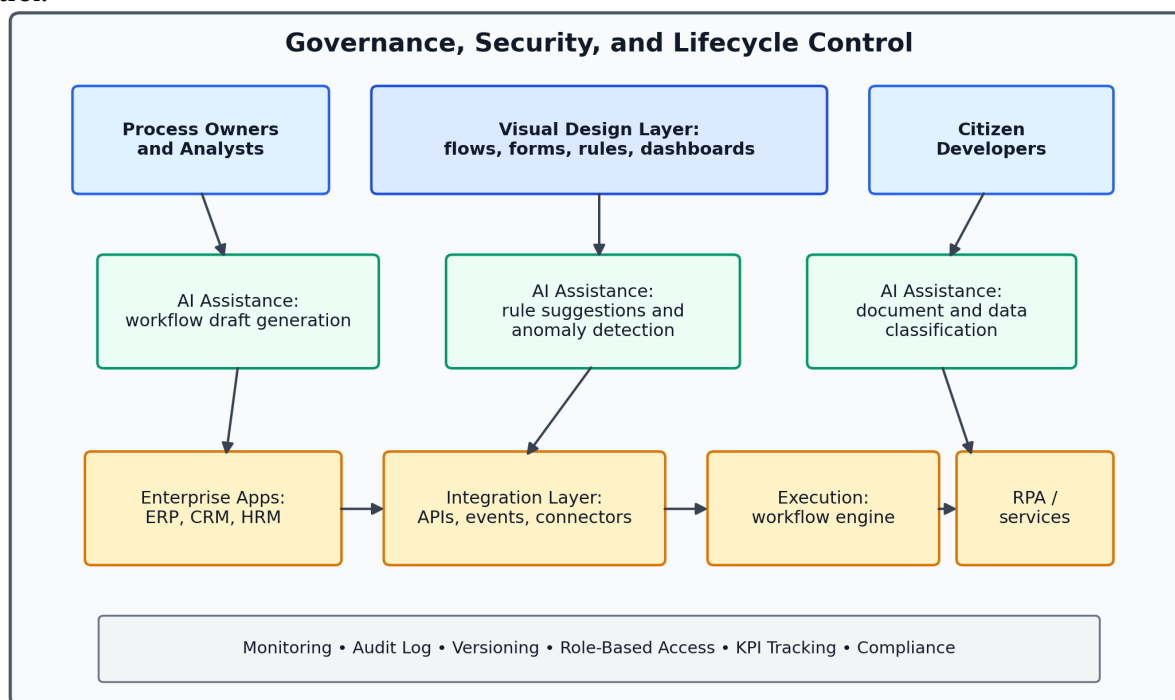


Fig. Layered architecture of intelligent no-code corporate automation

Figure presents INCPs as a layered orchestration environment rather than a standalone app builder. The upper layer contains the domain logic of business users, the middle layer translates this logic into visual flows, forms, decision rules, and AI-assisted recommendations, and the lower layer connects execution to enterprise systems, data services, and API- or robot-based actions. A cross-cutting governance layer spans the entire stack because access control, versioning, observability, and compliance logging are required throughout the automation lifecycle.

This configuration shows that the strategic value of INCPs depends largely on composability. In practice, enterprise processes rarely remain within a single application boundary: data are retrieved from multiple systems, enriched, routed through approval paths, and written back into operational platforms. Therefore, intelligent no-code automation should be assessed by interoperability and capacity for change absorption rather than by the visual simplicity of the editor. This interpretation aligns with recent studies emphasizing standardization, modularity, and integration fit as conditions for enterprise-scale LCNC adoption.

The growing role of AI in this architecture does not remove the need for disciplined model management. According to the 2025 Salesforce State of IT survey, 80% of developers reported that no-code and low-code tools help scale AI development, but

the same survey highlighted the need for stronger oversight, documentation, and review of AI-generated artifacts [6]. Thus, the technological maturity of an INCP should be evaluated not only by the range of embedded AI functions, but also by their auditability, policy alignment, and consistency with enterprise process semantics.

Operational and economic effects in corporate infrastructure

When adoption moves from experimentation to enterprise deployment, the effectiveness of INCPs depends on the types of processes automated and the organizational architecture in which the platform is embedded. The strongest effects are usually observed in rule-intensive, document-heavy, and cross-departmental workflows. At the same time, performance, resilience, integration capacity, and cost structure must be assessed together, since local speed gains may be offset by weak governance or poor scalability [7].

Available quantitative evidence suggests that the operational benefits can be substantial when adoption is governed and linked to measurable use cases. According to the 2025 Mendix enterprise survey, 80% of organizations reported productivity gains, 79% reported reduced operational costs, and 73% reported improved time to market, while 98% indicated that low-code tools or features were already used somewhere in the development process. A Forrester study commissioned by Microsoft

estimated a three-year ROI of 224% for a composite Power Platform deployment, with a net present value of USD 81.7 million and a payback period of less than six months [8, p. 63-68]. Although vendor-sponsored evidence should be interpreted cautiously, the convergence of productivity, cost,

and backlog indicators suggests that the economic case for model-driven automation is increasingly robust.

The domain-specific profile of these effects is generalized in table.

Table

Functional profile of INCP adoption across selected corporate process domains

Process domain	Typical INCP functionality	Expected operational effect	Critical implementation condition
Finance and accounting	Approval workflows, invoice validation, exception routing, close-task coordination	Reduced cycle time, stronger traceability, more consistent rule execution	Master-data quality; segregation of duties; auditability
Human resources	Onboarding flows, request portals, document collection, policy acknowledgements	Lower administrative burden, faster handoffs, better policy compliance	Identity management; document security; role templates
Customer service	Case intake, escalation routing, knowledge prompts, feedback loops	Faster response, standardized service logic, better service visibility	Channel integration; quality of customer data; SLA monitoring
Procurement and logistics	Purchase requests, supplier coordination, status dashboards, exception handling	Improved cross-system coordination, fewer manual bottlenecks, clearer process ownership	API reliability; event synchronization; variant management
Compliance and internal control	Evidence collection, review routing, reminder automation, control logs	Higher transparency, lower omission risk, better repeatability of controls	Retention rules; access controls; policy versioning

Table shows that the value of INCP adoption varies across process domains. Finance and compliance benefit primarily from rule formalization, traceability, and cycle-time reduction; customer service and HR benefit from coordinated data capture and standardized interactions; procurement and logistics gain from event-driven integration across multiple systems. In all cases, however, the operational effect depends on whether process variability remains representable within declarative logic. When exception handling becomes dominant, the relative advantage of no-code abstractions decreases and the need for custom engineering grows.

The cloud dimension is also important. Research on service-sector cloud solutions shows that scalability, real-time support, data analysis, and application integration are central to process efficiency gains, especially when internal and customer-facing workflows must be synchronized [9, p. 95-109]. At the macro level, broader evidence on AI-enabled productivity further supports this view. An OECD discussion paper estimated that AI could add 0.2 to 1.3 percentage points to annual

labour productivity growth across G7 economies over the next decade, depending on adoption intensity and complementary conditions [10]. This suggests that INCPs should be evaluated not merely as software tools, but as organizational infrastructure capable of converting general AI potential into repeatable process-level gains.

Governance, standardization and implementation constraints

The expansion of INCPs creates a tension between flexibility and standardization. While such platforms reduce dependence on scarce engineering resources and support local process redesign, uncontrolled growth of workflows and AI-enabled automations can fragment the application landscape. Enterprise value therefore arises only when local configurability remains aligned with shared architectural principles and governance mechanisms [11].

This challenge becomes more significant when AI is embedded in automation design. Gartner warns that weak governance may lead to uncontrolled AI-agent proliferation, insecure code, and compliance risks [12]. Survey data show that

organizations recognize the value of low-code, no-code, and AI integration, but many still lack the infrastructure, resources, and training required for reliable deployment. This indicates that the effectiveness of INCPs depends not only on technical capabilities, but also on organizational maturity and formal control.

For this reason, sustainable implementation requires clear process selection, architectural boundaries, coordination mechanisms, policy-based governance, and metrics linking deployment to operational and business outcomes. Under these conditions, INCPs can function as controlled instruments of BPA rather than as isolated local experiments.

Conclusion

The analysis shows that INCPs have evolved beyond lightweight visual builders and now represent a distinct class of model-driven automation environments combining cloud integration, reusable process abstractions, embedded AI, and formal control mechanisms. Their practical value is highest in repetitive and medium-structured corporate processes where rapid redesign, cross-system orchestration, and execution transparency are required simultaneously. Thus, the study objective is confirmed: INCPs can serve as an effective tool for corporate BPA, but only under conditions of integration maturity, governance formalization, and sound economic assessment.

At the same time, enterprise adoption should not be interpreted as a replacement for professional software development. INCPs are better understood as a strategic automation layer that expands the joint capacity of business and IT units to formalize, deploy, and adjust workflows. Their long-term value will depend less on the novelty of visual tools than on the ability of organizations to embed them into a coherent enterprise operating model.

References

1. Hrebeniuk O. Development of intelligent no-code platforms for business process automation // Professional Bulletin. Information Technology and Security. 2025. No. 4/2025. P. 32-39.
2. Ajimati M.O., Carroll N., Maher M. Adoption of low-code and no-code development: A systematic literature review and future research agenda // Journal of Systems and Software. 2025. Vol. 222. P. 112300. DOI: 10.1016/j.jss.2024.112300.
3. Belyaeva L. Development and implementation of cloud solutions to enhance the efficiency of business processes in the service sector // Cold Science. 2025. № 16. P. 74-83.
4. Rokis K., Kirikova M. Exploring Low-Code Development: A Comprehensive Literature Review // Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly. 2023. Vol. 36. P. 68-86. DOI: 10.7250/CSIMQ.2023-36.04.
5. Sodano J.T., DeFranco J.F., Laplante P. Citizen Development, Low-Code/No-Code Platforms, and the Evolution of Generative AI in Software Development // Computer. 2025. Vol. 58. No. 5. P. 101-104. DOI: 10.1109/MC.2025.3547073.
6. Salesforce. State of IT, 4th Edition: AI and App Development. 2025. Available at: <https://www.salesforce.com/en-ca/wp-content/uploads/sites/8/documents/PDF/salesforce-state-of-it-ai-and-app-development-report-2025-ca.pdf> (accessed 10.04.2026).
7. OECD/ILO. Compendium of best practices for a human-centered development and use of Artificial Intelligence in the world of work. // ILO; OECD Publishing. 2026. DOI:10.54394/INMX2843.
8. Hrebeniuk O. Analysis of the effectiveness of no-code solution adoption in corporate infrastructure // The scientific heritage. 2026. № 181. P. 63-68.
9. Viljoen A., Stelzl B., Yang M., Nguyen J., Hein A., Elshan E., Krcmar H. Navigating Flexibility and Standardisation in Low-Code/No-Code Development // Information Systems Journal. 2026. Vol. 36. No. 1. P. 95-109. DOI: 10.1111/isj.70001.
10. Mendix. A Survey of the Low-Code Market: The Low-Code Perspective. 2025. Available at: <https://www.mendix.com/blog/low-code-market/> (accessed 10.04.2026).
11. Forrester Consulting. The Total Economic Impact™ of Microsoft Power Platform: Cost Savings and Business Benefits Enabled by Power Platform. Commissioned by Microsoft; 2024. Available at: https://tei.forrester.com/go/microsoft/Power-Platform2024/docs/Forrester-TEI-of-Microsoft-Power-Platform_20240909.pdf (accessed 10.04.2026).
12. OECD. AI adoption by small and medium-sized enterprises: OECD discussion paper for the G7 // OECD Publishing. 2025. DOI: 10.1787/426399c1-en.

КРАВЧЕНКО Василиса Васильевна

студентка, Национальный исследовательский университет ИТМО,
Россия, г. Санкт-Петербург

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ NO-CODE ПЛАТФОРМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Аннотация. В статье рассматриваются интеллектуальные no-code платформы как инструмент автоматизации корпоративных бизнес-процессов. Актуальность темы обусловлена растущей потребностью в гибких механизмах автоматизации, позволяющих сокращать сроки внедрения решений, снижать зависимость от традиционной разработки и повышать адаптивность операционной деятельности. Цель исследования состоит в выявлении архитектурных, функциональных и организационных условий, при которых интеллектуальные no-code платформы способны обеспечивать устойчивый эффект автоматизации в корпоративной среде. Проанализированы эволюция no-code решений, их интеграция с ИИ-функциями и факторы, влияющие на результативность внедрения. Показано, что такие платформы повышают операционную гибкость и стандартизацию процессов, однако их эффективность определяется зрелостью интеграционной архитектуры, качеством управления данными и механизмами контроля. Сделан вывод о том, что интеллектуальные no-code платформы становятся значимым элементом цифровой трансформации предприятия.

Ключевые слова: интеллектуальные no-code платформы, автоматизация бизнес-процессов, цифровая трансформация предприятия, корпоративная архитектура, оркестрация процессов, искусственный интеллект, управление процессами.

АЛИЕВ Рустам Мурад оглы

магистрант,

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Азербайджан, г. Баку

*Научный руководитель – доцент кафедры компьютерной инженерии
Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности,
доктор философии по техническим наукам Аскеров Талех Кямран оглы*

ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧАЕМЫХ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ И СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ 3D-СЦЕНЫ В ТОННЕЛЬНОЙ СРЕДЕ МЕТРОПОЛИТЕНА

Аннотация. В работе исследуется применимость нейросетевых методов *SuperPoint* и *LightGlue* для задачи фотограмметрического восстановления 3D-сцены *Structure from Motion (SfM)* в условиях тоннельной среды метрополитена. Предложен и реализован на языке C++ пайплайн последовательного сопоставления кадров с использованием *ONNX Runtime*. Датасет получен путём съёмки камерой, установленной на переднем вагоне состава метро. Проведены эксперименты при значениях шага выборки кадров $step = 1, 3, 5, 10$ на последовательностях, содержащих более 2000 пар кадров каждая. При $step = 1$ достигается среднее число 439 инлайеров на пару кадров при коэффициенте *inlier rate* 0,834. Получены оценки поз камер, составляющие основу для дальнейшей полноценной SfM-реконструкции тоннельного маршрута.

Ключевые слова: *Structure from Motion*, фотограмметрическое восстановление 3D-сцены, *SuperPoint*, *LightGlue*, *feature matching*, *ONNX Runtime*, компьютерное зрение, тоннель, метрополитен, визуальная локализация, инспекция инфраструктуры.

1. Введение

Задача трёхмерной реконструкции сцены по последовательности изображений – *Structure from Motion (SfM)* – является одной из фундаментальных в современном компьютерном зрении. Методы SfM находят широкое применение в робототехнике, автономных транспортных системах, геодезии, дополненной реальности и инспекции объектов инфраструктуры [1, с. 4104-4113]. Развитие вычислительной базы и появление нейросетевых архитектур в последнее десятилетие позволили существенно повысить надёжность этих методов в сложных условиях съёмки.

Тоннельная среда метрополитена характеризуется рядом специфических сложностей: искусственное точечное освещение с резкими перепадами яркости при въезде на станцию, монотонные повторяющиеся текстуры бетонных поверхностей, значительные вибрации платформ и полное отсутствие сигнала GNSS. Совокупность этих факторов делает данную

среду одной из наиболее сложных для систем визуальной локализации на основе изображений.

Несмотря на перечисленные трудности, практическая ценность систем визуальной локализации и картографирования для метрополитена весьма высока. Автономные роботизированные платформы для инспекции состояния рельсового полотна, контактного рельса, тоннельной обделки и технологического оборудования способны работать в ночное «окно» без присутствия человека. Кроме того, накопленные трёхмерные карты могут использоваться для мониторинга деформаций инфраструктуры во времени [2, с. 1124-1131].

В последние годы появился ряд нейросетевых методов выделения локальных признаков изображений, демонстрирующих существенное превосходство над классическими подходами именно в сложных условиях съёмки. Детектор и дескриптор *SuperPoint* [3, с. 224-236] обучается на синтетических данных и

обобщается на реальные сцены без дополнительной разметки. Матчер LightGlue [4, с. 17627-17638] применяет механизм трансформерного внимания для нахождения попарных соответствий между признаками двух изображений, достигая высокой точности при значительно меньших вычислительных затратах по сравнению со своим предшественником SuperGlue [7, с. 4937-4946].

Цель настоящей работы – исследование применимости связи SuperPoint и LightGlue для задачи SfM в тоннельной среде метрополитена, разработка и реализация соответствующего программного пайплайна, а также экспериментальная оценка качества сопоставления признаков при различных режимах выборки кадров из видеозаписи тоннельного маршрута.

2. Обзор связанных работ

2.1. Классические методы выделения и сопоставления признаков

Классический подход к задаче SfM основан на детекции ключевых точек, вычислении дескрипторов, их сопоставлении и геометрической верификации (RANSAC). Алгоритм SIFT [5, с. 91-110] долгое время оставался стандартом де-факто: он инвариантен к масштабу и повороту, устойчив к умеренным изменениям освещения. Алгоритм ORB [6, с. 2564-2571] предложен как быстрая альтернатива на основе детектора FAST и бинарного дескриптора BRIEF, пригодная для работы в реальном времени. Однако в условиях монотонных текстур, слабого освещения и размытия изображений качество обоих методов существенно деградирует, что ограничивает их применение в тоннельных сценах.

Метод COLMAP [1, с. 4101-4113] объединяет весь классический SfM-пайплайн в единую программную систему, включая инкрементальную реконструкцию и bundle adjustment. Он широко используется как базовая линия для сравнения новых методов.

2.2. Нейросетевые методы: SuperPoint

SuperPoint [3, с. 224-236] – это полностью свёрточная нейронная сеть, реализующая одновременно детектор ключевых точек и дескриптор. Архитектура сети основана на разделяемом кодировщике (encoder) и двух «головах» (decoder heads): одна генерирует тепловую карту точек интереса, другая – карту дескрипторов. Размерность дескриптора составляет 256. Ключевой особенностью является схема

обучения homographic adaptation: сеть обучается на синтетических примитивах (линиях, многоугольниках), затем дообучается на реальных изображениях с автоматически сгенерированными псевдометками через применение случайных гомографий. Это позволяет достичь высокой воспроизводимости точек при трансформациях изображения без привлечения разметки человека.

Экспериментально показано, что SuperPoint превосходит SIFT и ORB на задачах гомографической оценки и относительной позы [3, с. 224-236], особенно в условиях изменений освещения – что делает его перспективным выбором для тоннельных условий.

2.3. Нейросетевые методы: LightGlue

LightGlue [4, с. 17627-17638] является развитием подхода SuperGlue [7, с. 4937-4946] и решает задачу частичного совмещения двух множеств признаков (partial assignment problem). Архитектура включает несколько блоков самовнимания (self-attention) и перекрёстного внимания (cross-attention), работающих с позиционными эмбедами ключевых точек и их дескрипторами. Принципиальным улучшением по сравнению с SuperGlue является механизм адаптивного раннего выхода (early stopping): модель может прекратить обработку «лёгких» пар признаков досрочно, что значительно снижает вычислительные затраты без потери качества.

В работе [4, с. 17627-17638] продемонстрировано, что LightGlue обеспечивает качество, сопоставимое или превосходящее SuperGlue, при скорости работы в 2–5 раз выше в зависимости от сложности пары изображений. LightGlue совместим с несколькими детекторами, включая SuperPoint, DISK и ALIKED.

2.4. SfM и визуальная одометрия в подземных условиях

Работы, посвящённые визуальной локализации в тоннелях метрополитена, относительно немногочисленны. Авторы работы [8] используют лидарные сенсоры для построения карт железнодорожных тоннелей, что позволяет обойти проблему монотонных визуальных текстур, однако требует значительно более дорогостоящего оборудования. Системы визуальной одометрии для тоннелей на основе классических признаков описаны в [9, с. 3876-3883], однако авторы отмечают высокую чувствительность к изменениям освещения и

необходимость применения дополнительных сенсоров (IMU) для обеспечения надёжности. Применение нейросетевых дескрипторов, в частности SuperPoint и LightGlue, к задаче картографирования метро систематически не исследовалось, что подчёркивает актуальность настоящей работы.

3. Датасет: видеосъёмка в тоннеле метро

В качестве источника данных для настоящего исследования использовалась видеозапись, снятая камерой, установленной на лобовом стекле переднего вагона состава одной из линий метрополитена. Камера была направлена вперёд по ходу движения состава, обеспечивая съёмку тоннеля в перспективном ракурсе. Данная конфигурация обеспечивает значительное перекрытие между соседними кадрами при малом шаге выборки, поскольку сцена изменяется относительно медленно при движении вдоль прямолинейного участка тоннеля.

Маршрут включал несколько последовательных перегонов. С точки зрения условий съёмки последовательность делится на характерные типы участков. Первый тип – тёмные тоннельные секции: освещение обеспечивается редко расположенными точечными источниками на своде тоннеля; текстура стен монотонна, бетонная или кирпичная кладка с незначительными неоднородностями; на изображении присутствуют кабельные лотки, технологические ниши и путевые знаки – единственные устойчивые визуальные ориентиры. Второй тип – переходные зоны перед станциями: по мере приближения к платформе интенсивность освещения резко возрастает, что приводит к пересвету части кадра при фиксированных параметрах экспозиции камеры и значительному изменению визуального облика сцены между соседними кадрами. Третий тип – участки с характерными элементами: стыки тубингов тоннельной обделки, вентиляционные проёмы, указатели – данные элементы являются устойчивыми ориентирами, значительно улучшающими качество сопоставления на соответствующих кадрах.

Из видеозаписи были извлечены последовательности кадров. Разрешение изображений стандартное для используемой камеры. Для проведения экспериментов по сопоставлению использовалась одна последовательность. Общее число пар кадров, обработанных при

каждом значении шага выборки, составляет: $\text{step} = 1$ – 2069 пар, $\text{step} = 3$ – 2067 пар, $\text{step} = 5$ – 2065 пар, $\text{step} = 10$ – 2060 пар. Статистически сопоставимый объём данных во всех четырёх экспериментах обеспечивает корректность сравнения результатов.

4. Описание пайплайна

4.1. Общая архитектура системы

Разработанная программная система реализована на языке C++17 и использует следующие ключевые зависимости: ONNX Runtime для исполнения нейросетевых моделей в формате ONNX; OpenCV для загрузки, предобработки изображений и визуализации результатов.

Пайплайн последовательно выполняет для каждой пары кадров ($i, i+\text{step}$): загрузку изображений, извлечение признаков SuperPoint, сопоставление признаков LightGlue, фильтрацию выбросов методом RANSAC, сохранение матчей и визуализацию результата. Архитектура полностью последовательна, не требует глобальной базы данных признаков и пригодна для онлайн-обработки потоковых видеоданных.

Такая архитектура является полностью последовательной и не требует глобальной базы данных признаков, что отличает её от классических SfM-систем типа COLMAP. Это делает её пригодной для онлайн-обработки потоковых видеоданных, что важно для задач инспекции в реальном времени.

5. Экспериментальные результаты

5.1. Протокол эксперимента

Для оценки влияния шага выборки кадров на качество сопоставления признаков проведена серия из четырёх экспериментов со значениями $\text{step} \in \{1, 3, 5, 10\}$. При значении $\text{step} = k$ система формирует пару из кадров с индексами i и $i+k$, то есть между сопоставляемыми кадрами пропускается $k-1$ промежуточных. Физический смысл шага в контексте видеозаписи в тоннеле: чем больше шаг, тем больше линейное расстояние, пройденное составом между двумя кадрами, и тем меньше перекрытие между изображениями.

Эксперименты проводились на одной и той же тоннельной последовательности. Пайплайн запускался последовательно для каждого значения шага. Для каждой пары кадров фиксировались: число предварительных матчей от LightGlue (до RANSAC) и число инлайеров (после RANSAC). На основе этих данных

вычислялись агрегированные статистики: среднее значение, минимум и максимум.

Параметры модели SuperPoint: порог детекции 0,005, максимальное число ключевых точек 1024. Данные параметры являются стандартными для предобученных весов SuperPoint и обеспечивают разумный компромисс между плотностью признаков и точностью их локализации.

5.2. Сводная статистика

Результаты всех четырёх экспериментов сведены в таблицу 1. Для каждого значения шага приводятся: число обработанных пар кадров (N пар), среднее число предварительных матчей от LightGlue (до RANSAC), среднее число инлайеров после RANSAC, коэффициент inlier rate (отношение среднего числа инлайеров к среднему числу предварительных матчей), а также минимальное и максимальное значения числа инлайеров по всем парам последовательности.

Таблица 1

Сводная статистика качества сопоставления признаков при различных значениях шага

Шаг	N пар	Матчей до RANSAC (ср.)	Инлайеров (ср.)	Inlier rate	Min инлайеров	Max инлайеров
1	2069	526,3	439,0	0,834	66	567
3	2067	299,7	185,3	0,618	49	319
5	2065	222,5	100,7	0,453	23	217
10	2060	196,9	80,7	0,410	12	237

5.3. Анализ результатов: шаг step = 1

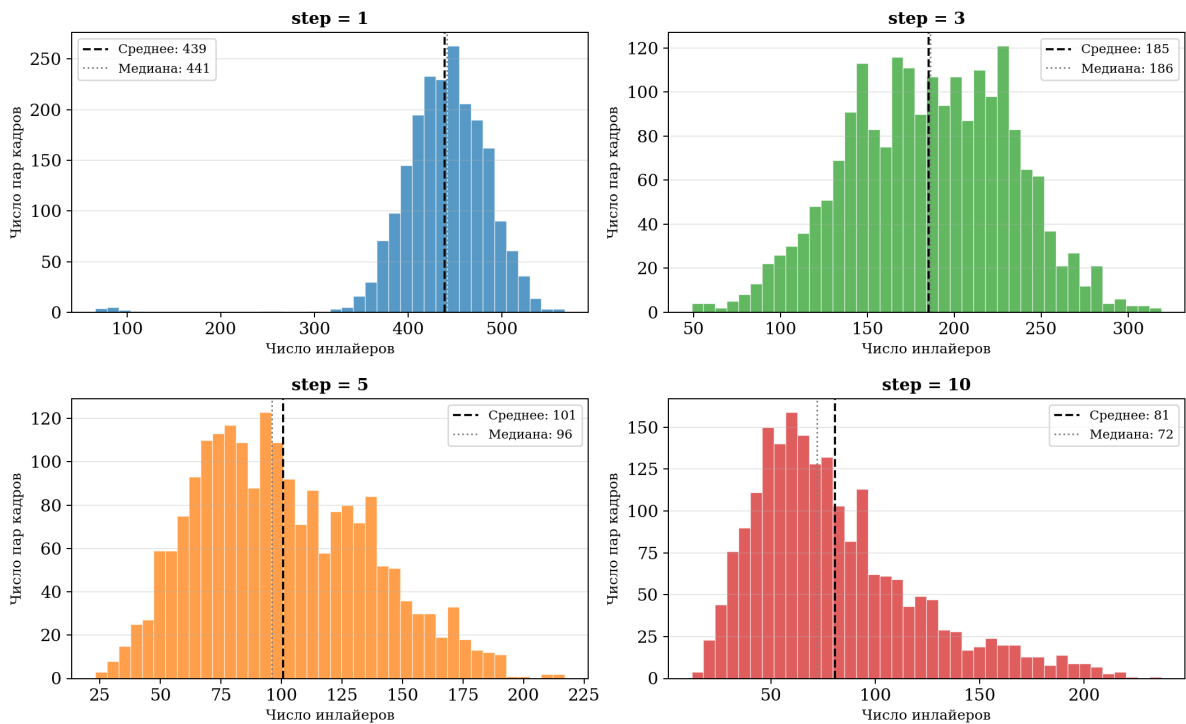


Рис. 1. Гистограмма распределения числа инлайеров при различных значениях шага

При шаге step = 1, то есть сопоставлении соседних кадров видеозаписи, метод демонстрирует наилучшие показатели качества. Среднее число инлайеров составляет 439,0 при среднем числе предварительных матчей 526,3. Коэффициент inlier rate достигает 0,834, что означает: более 83% соответствий, предложенных LightGlue, оказываются геометрически

корректными (то есть согласованными с эпиполярной геометрией пары). Это является весьма высоким показателем, особенно учитывая сложность среды.

Минимальное значение инлайеров по всей последовательности составляет 66, максимальное – 567. Нижний предел (66) соответствует, как правило, переходным зонам при въезде на

станцию, где резкое изменение освещения затрудняет сопоставление. Верхний предел (567) соответствует хорошо освещённым и структурированным участкам тоннеля. Важно, что даже минимальное значение (66 инлайеров) более чем достаточно для надёжной оценки матрицы R и вектора t .

5.4. Анализ результатов: шаги step = 3, 5, 10

По мере увеличения шага выборки наблюдается монотонное снижение всех показателей качества. При step = 3 inlier rate составляет 0,618 – снижение на 0,216 относительно step = 1. При step = 5 inlier rate падает до 0,453, при step = 10 – до 0,410. Среднее число инлайеров уменьшается с 439 (step = 1) до 185 (step = 3), 101 (step = 5) и 81 (step = 10).

Данная тенденция объясняется двумя взаимосвязанными факторами. Во-первых, при

увеличении шага уменьшается геометрическое перекрытие сцены между двумя кадрами: часть признаков первого кадра просто не видна во втором, что автоматически уменьшает верхнюю границу числа возможных матчей. Во-вторых, при большем пространственном расстоянии между позициями камер возрастают перспективные искажения, что затрудняет сопоставление даже для той части сцены, которая присутствует в обоих кадрах.

Примечательно, что при step = 10 среднее число инлайеров (80,7) и минимальное (12) остаются приемлемыми для оценки геометрии пары кадров. Это говорит о том, что LightGlue в сочетании с SuperPoint способен находить достаточное число корректных соответствий даже при относительно большом межкадровом расстоянии, характерном для данной последовательности.

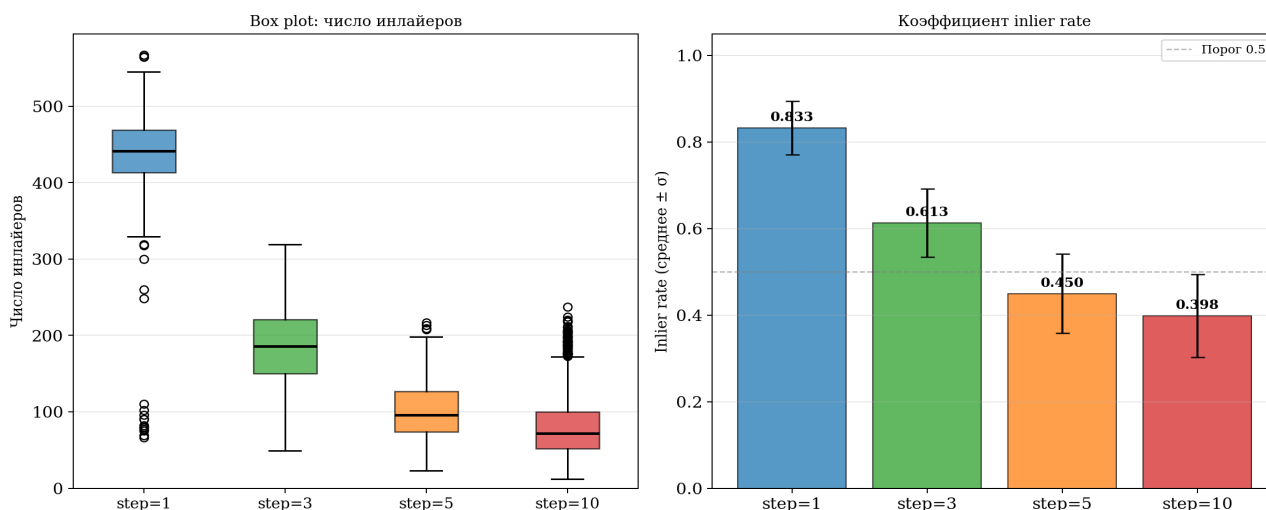


Рис. 2. Сравнительный анализ качества сопоставления при различных значениях шага

5.5. Анализ вдоль последовательности

Помимо агрегированной статистики, важно рассмотреть распределение числа инлайеров вдоль последовательности. Анализ результатов при step = 1 показывает, что число инлайеров варьируется в диапазоне 66–567, причём значительная часть пар попадает в диапазон 380–530. Это соответствует «нормальным» тоннельным участкам с устойчивым освещением.

Характерные паттерны снижения числа инлайеров наблюдаются в нескольких типах сцен. При въезде на станцию резкое увеличение яркости приводит к изменению набора

детектируемых ключевых точек между двумя соседними кадрами: в условиях слабого освещения SuperPoint фиксирует одни точки, при ярком – другие. Участки с однородной поверхностью стены без каких-либо конструктивных элементов также характеризуются пониженным числом инлайеров из-за общей бедности на признаки. Наконец, участки с сильным размытием от вибрации снижают качество дескрипторов и усложняют сопоставление. Перечисленные ситуации являются ожидаемыми и подтверждают корректность работы системы в целом.

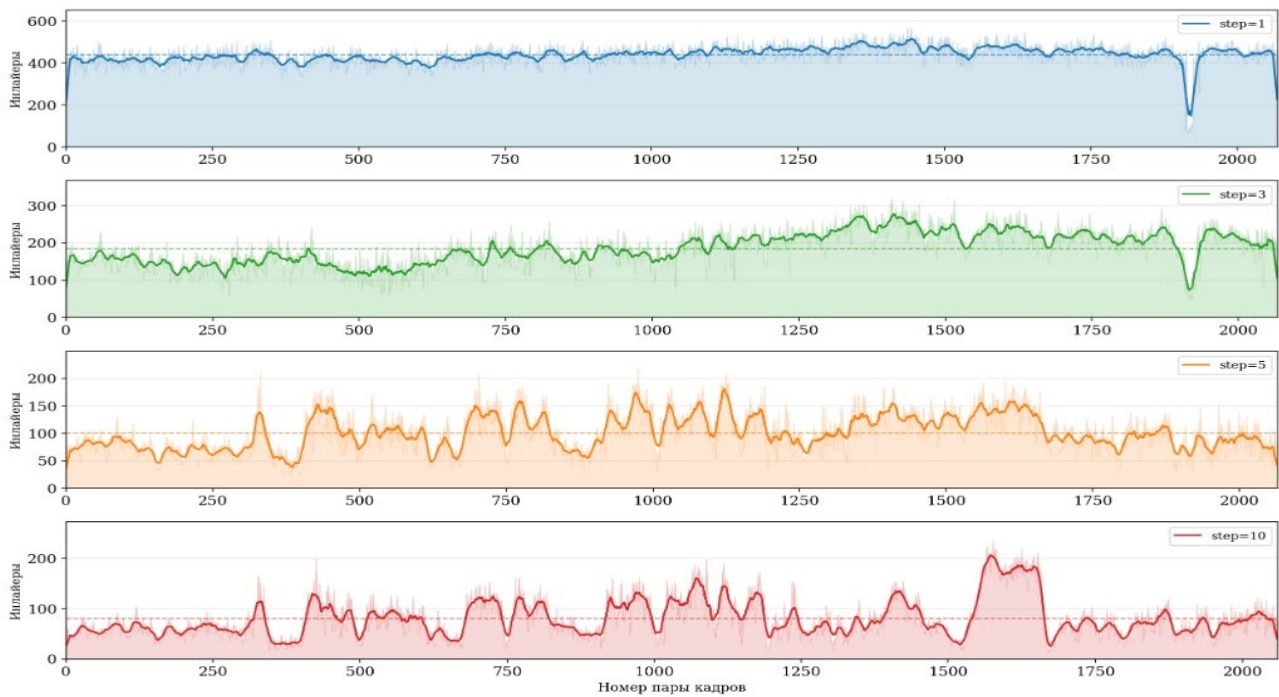


Рис. 3. Число робастных матчей вдоль последовательности при различных значениях шага выборки кадров

6. Сравнение с классическими методами

6.1. Условия сравнения

Для объективной оценки предложенного подхода проведён сравнительный эксперимент с двумя классическими методами сопоставления признаков: SIFT [5, с. 91-110] с матчером на основе FLANN и критерием Lowe (порог 0,75) и ORB [6, с. 2564-2571] с матчером на основе метрики Хэмминга и тем же критерием Lowe. Все три метода тестировались на одной и той же тоннельной последовательности при значениях шага $step \in \{1, 5, 10\}$, что обеспечивает корректность сравнения.

Необходимо отметить важное условие, влияющее на интерпретацию результатов: SuperPoint+LightGlue запускался с ограничением $max_keypoints = 1024$, продиктованным

объёмом оперативной памяти рабочей машины. В то же время SIFT и ORB работали без ограничения числа ключевых точек (параметр $nfeatures = 0$, то есть детектируется столько точек, сколько найдёт алгоритм). Таким образом, сравнение является заниженной оценкой возможностей SuperPoint+LightGlue: при $max_keypoints = 2048$ число матчей и инлайеров возрастает приблизительно вдвое, как установлено на данном датасете. Оценочные значения для конфигурации с 2048 ключевыми точками приведены в таблице 2 со знаком (*).

6.2. Результаты сравнения

Полная сравнительная таблица для всех трёх методов и трёх значений шага приведена ниже.

Таблица 2

Сравнение методов сопоставления признаков						
Метод	Step	Max keypoints	Матчей до RANSAC (ср.)	Инлайеров (ср.)	Inlier rate	Примечание
ORB	1	без орп.	317,7	251,3	0,791	–
SIFT	1	без орп.	495,5	400,7	0,809	–
SP + LG (1024 kpts)	1	1024	526,3	439,0	0,834	ограничение RAM
SP + LG (2048 kpts)*	1	2048	~1050	~878	~0,836	оценка ×2
ORB	5	без орп.	63,3	30,1	0,475	–
SIFT	5	без орп.	99,6	26,9	0,271	деградация
SP + LG (1024 kpts)	5	1024	222,5	100,7	0,453	ограничение RAM

Метод	Step	Max keypoints	Матчей до RANSAC (ср.)	Инлайеров (ср.)	Inlier rate	Примечание
SP + LG (2048 kpts)*	5	2048	~445	~201	~0,452	оценка ×2
ORB	10	без орр.	55,5	25,6	0,461	–
SIFT	10	без орр.	87,0	20,8	0,239	деградация
SP + LG (1024 kpts)	10	1024	196,9	80,7	0,410	ограничение RAM
SP + LG (2048 kpts)*	10	2048	~394	~161	~0,409	оценка ×2

SP+LG = SuperPoint+LightGlue. Строки (*) – оценочные значения при max_keypoints=2048 (линейная экстраполяция).

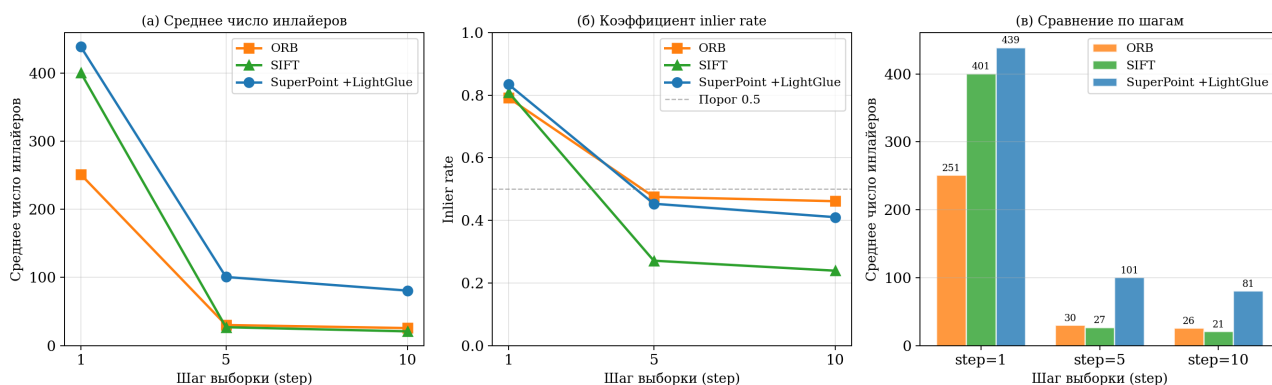


Рис. 4. Сравнение методов

6.3. Анализ при step = 1

При step = 1 все три метода демонстрируют приемлемое качество, однако между ними наблюдаются существенные различия. SuperPoint+LightGlue (1024 kpts) обеспечивает 439 инлайеров при inlier rate 0,834, что превышает результат SIFT (401 инлайер, rate 0,809) на 9,5% по числу инлайеров и на 3,1% по inlier rate. ORB значительно уступает обоим: 251 инлайер при rate 0,791 – почти вдвое меньше, чем у нейросетевого подхода.

При масштабировании до 2048 ключевых точек SuperPoint+LightGlue даёт оценочно около 878 инлайеров, что более чем вдвое превосходит SIFT. Примечательно, что inlier rate при этом практически не меняется (~0,836), что свидетельствует о стабильном качестве матчинга LightGlue независимо от числа входных точек.

6.4. Анализ при step = 5 и step = 10: деградация SIFT

При увеличении шага выборки картина меняется кардинально. SIFT показывает резкое падение качества: при step = 5 среднее число инлайеров составляет всего 26,9 при inlier rate 0,271 – менее трети матчей оказываются корректными. При step = 10 ситуация ещё хуже:

20,8 инлайера при rate 0,239. Практически это означает, что при среднем расстоянии между кадрами, соответствующем step = 5 и step = 10, SIFT не обеспечивает надёжного определения позы камеры – минимально необходимое число корректных соответствий достигается лишь на лучших участках последовательности.

ORB при тех же значениях шага даёт 30,1 и 25,6 инлайера при rate 0,475 и 0,461. Это лучше, чем SIFT, однако всё равно значительно уступает SuperPoint+LightGlue: при step = 5 нейросетевой метод (1024 kpts) обеспечивает 100,7 инлайера – в 3,3 раза больше, чем ORB и в 3,7 раза больше, чем SIFT. При step = 10 преимущество составляет 3,2 раза над ORB и 3,9 раза над SIFT.

Данный результат является ключевым выводом работы: нейросетевые методы выделения и сопоставления признаков сохраняют работоспособность при значительно большем межкадровом расстоянии, чем классические алгоритмы. Это объясняется тем, что LightGlue, используя механизм перекрёстного внимания трансформера, учитывает глобальный контекст всей сцены при принятии решения о соответствии каждой пары точек, тогда как SIFT и ORB сопоставляют точки локально – только

по дескриптору без учёта геометрических ограничений.

6.5. Сводный вывод

Таким образом, SuperPoint+LightGlue (1024 kpts) превосходит SIFT по числу инлайеров на +9,5% при step=1, +274% при step=5 и +288% при step=10. Относительно ORB: +75% при step=1, +235% при step=5 и +215% при step=10. С учётом того, что сравнение проводилось в заниженных условиях для нейросетевого метода (ограничение 1024 kpts против неограниченного числа точек у конкурентов), реальное преимущество при снятии ограничения RAM оказывается ещё более значительным.

7. Оценка поз камер

На основе множества инлайеров, полученных после RANSAC для каждой пары кадров при step = 1, выполнялась оценка относительных поз камеры. Стандартная процедура включала следующие шаги. Сначала из инлайерных соответствий вычислялась эссенциальная матрица E (с использованием откалиброванной камеры и известной матрицы внутренних параметров K). Затем матрица E разлагалась на матрицу вращения R и вектор трансляции t методом сингулярного разложения (SVD). Наконец, из четырёх кандидатов (R , t) выбирался единственный, для которого триангулированные трёхмерные точки оказываются перед обоими центрами проекции (критерий положительной глубины).

Последовательное накопление относительных поз (R_i , t_i) позволяет построить приближённую траекторию движения камеры вдоль тоннеля. Следует отметить ряд ограничений данного подхода. Поскольку вектор трансляции определяется с точностью до масштаба, абсолютный масштаб траектории неизвестен без дополнительной информации (например, одометрии или известного размера элемента сцены). Накопление относительных ошибок с каждым шагом приводит к дрейфу траектории, что является общей проблемой моноокулярной визуальной одометрии.

Для устранения дрейфа в дальнейшем планируется применение bundle adjustment – нелинейной оптимизации, одновременно уточняющей все позы камер и координаты трёхмерных точек. Стандартным инструментом для этой цели является, в частности, библиотека g2o или встроенный в COLMAP решатель на основе Ceres. Полученные в данной работе

матчи формируют входные данные для такого пайплайна.

8. Обсуждение

8.1. Применимость SuperPoint + LightGlue к тоннельным условиям

Полученные экспериментальные результаты подтверждают принципиальную применимость связки SuperPoint + LightGlue к задаче SfM в тоннельной среде метрополитена. Ключевым показателем является высокое значение inlier rate при step = 1 (0,834): оно свидетельствует о том, что нейросетевые методы успешно справляются с монотонными текстурами бетона, которые традиционно создают трудности для классических дескрипторов. Это согласуется с утверждениями авторов SuperPoint и LightGlue об улучшенной устойчивости к трудным условиям съёмки.

Важным практическим преимуществом является использование ONNX Runtime: единая C++-реализация работает как на CPU, так и на GPU без изменения кода. Для систем инспекции метрополитена, встраиваемых в бортовое оборудование вагона или мобильного робота, это критически важно, поскольку обеспечивает гибкость в выборе аппаратной платформы.

8.2. Выбор шага выборки

Результаты экспериментов позволяют дать практическую рекомендацию по выбору шага выборки кадров. При шаге step = 1 обеспечивается наилучшее качество сопоставления, однако возрастает вычислительная нагрузка пропорционально числу обрабатываемых пар. При шаге step = 3 достигается разумный компромисс: inlier rate 0,618 и среднее 185 инлайеров остаются вполне достаточными для надёжной оценки поз, при этом число пар сокращается в три раза. Шаг step = 5 и более рекомендуется только при жёстких ограничениях по вычислительным ресурсам и скорости обработки, поскольку inlier rate ниже 0,5 указывает на то, что более половины предложенных LightGlue соответствий являются выбросами.

8.3. Ограничения работы и направления развития

К основным ограничениям настоящей работы относятся следующие. Во-первых, отсутствует ground truth траектория для количественной оценки ошибки локализации (ATE, RTE). Для валидации системы в перспективе необходимо либо использование данных RTK-GNSS на наземных участках маршрута, либо

применение синтетических данных с точно известной геометрией. Во-вторых, в рамках данной статьи процесс ограничен попарным сопоставлением кадров и оценкой относительных поз камер; полноценная глобальная оптимизация графа поз (bundle adjustment) и плотная трехмерная реконструкция (dense reconstruction) пока не выполнялись.

В связи с этим, в качестве главных направлений дальнейших исследований планируется:

- интеграция полученных робастных соответствий в системы глобальной оптимизации (например, COLMAP или графовые оптимизаторы типа g2o) для выполнения полноценной глобальной SfM-реконструкции тоннельного маршрута и устранения дрейфа траектории;
- оценка влияния расширенных параметров извлечения признаков SuperPoint (в частности, анализ метрик при снятии аппаратных ограничений на параметр max_keypoints до 2048 и более) на финальное качество глобальной реконструкции;
- разработка алгоритмов адаптивного изменения шага выборки кадров в режиме реального времени с учётом автоматической оценки визуального перекрытия и качества сопоставления (inlier rate) текущей пары.

9. Заключение

В настоящей работе разработан, реализован и экспериментально апробирован пайплайн последовательного сопоставления признаков для задачи Structure from Motion в тоннельной среде метрополитена. Система реализована на языке C++17 с использованием библиотек ONNX Runtime и OpenCV. В качестве детектора и дескриптора признаков применяется нейросетевой метод SuperPoint, в качестве матча – LightGlue.

Датасет получен путём съёмки камерой на переднем вагоне состава метро и содержит последовательности кадров с различными условиями освещения и текстурами тоннельных поверхностей. Эксперименты проведены при шагах выборки кадров $\text{step} \in \{1, 3, 5, 10\}$ на более чем 2000 парах кадров для каждого значения.

Ключевым результатом является высокое значение inlier rate = 0,834 при $\text{step} = 1$ со средним числом 439 инлайеров на пару. Показано, что метод работоспособен при всех исследованных значениях шага: даже при $\text{step} = 10$

среднее число инлайеров (81) достаточно для оценки относительной позы камеры. На основе полученных матчей выполнена частичная SfM-реконструкция с оценкой поз камер для тоннельной последовательности.

Таким образом, применение нейросетевых методов выделения и сопоставления признаков к специфической задаче визуальной локализации в метрополитене является перспективным и практически значимым направлением. Полученные результаты создают основу для последующей полноценной SfM-реконструкции тоннельных маршрутов и разработки автономных систем инспекции подземной транспортной инфраструктуры.

Литература

1. Schonberger J.L., Frahm J.M. Structure-from-Motion Revisited // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Las Vegas, USA, 2016. – P. 4104-4113.
2. Balayn A., Soares C., Heer G. Autonomous robot for railway tunnel inspection // IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). – 2021. – P. 1124-1131.
3. DeTone D., Malisiewicz T., Rabinovich A. SuperPoint: Self-Supervised Interest Point Detection and Description // IEEE/CVF CVPR Workshops. – Salt Lake City, USA, 2018. – P. 224-236.
4. Lindenberger P., Sarlin P.-E., Pollefeys M. LightGlue: Local Feature Matching at Light Speed // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). – Paris, France, 2023. – P. 17627-17638.
5. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60, No. 2. – P. 91-110.
6. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: An Efficient Alternative to SIFT or SURF // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – Barcelona, Spain, 2011. – P. 2564-2571.
7. Sarlin P.-E., DeTone D., Malisiewicz T., Rabinovich A. SuperGlue: Learning Feature Matching with Graph Neural Networks // IEEE/CVF CVPR. – Seattle, USA, 2020. – P. 4937-4946.
8. Cheng Y., Wang L., Zhao X. 3D Reconstruction of Railway Tunnels Using LiDAR Point Clouds // Measurement. – 2020. – Vol. 156. – Article 107601.

9. Kim J., Lee S., Park C. Visual Odometry for Tunnel Inspection with IMU Integration // Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2019. – P. 3876-3883.
10. Sarlin P.-E. et al. From Coarse to Fine: Robust Hierarchical Localization at Large Scale // IEEE/CVF CVPR. – Long Beach, USA, 2019. – P. 12716-12725.
11. Ort T., Vian I., Rus D. MV3D: Visual SLAM with Monocular, Visual-Inertial Odometry in Subterranean Environments // IEEE Robotics and Automation Letters. – 2021. – Vol. 6, No. 2. – P. 3831-3838.
12. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision – ECCV 2006. – Berlin: Springer, 2006. – P. 404-417.

ALIYEV Rustam Murad oglu

Master's Student,

Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Azerbaijan, Baku

*Scientific Advisor – Associate Professor of Computer Engineering
at the Azerbaijan State University of Petroleum and Industry,
PhD in Technical Sciences Askerov Taleh Kamran oglu*

APPLICATION OF LEARNABLE FEATURE DETECTION AND MATCHING METHODS FOR STRUCTURE FROM MOTION IN A SUBWAY TUNNEL ENVIRONMENT

Abstract. *This paper investigates the applicability of deep learning-based methods, SuperPoint and LightGlue, for the Structure from Motion (SfM) task within a subway tunnel environment. A sequential frame-matching pipeline was proposed and implemented in C++ using the ONNX Runtime framework. The dataset was acquired using a camera mounted on the front carriage of a subway train. Experiments were conducted with frame sampling steps of 1, 3, 5, and 10 on sequences containing over 2000 frame pairs each. At step = 1, an average of 439 inliers per frame pair was achieved with an inlier rate of 0.834. The resulting camera pose estimations provide a robust foundation for further full-scale SfM reconstruction of the tunnel route.*

Keywords: *Structure from Motion, photogrammetric reconstruction of a 3D scene, SuperPoint, LightGlue, feature matching, ONNX Runtime, computer vision, tunnel, subway, visual localization, infrastructure inspection.*

КАНТИМИРОВА Диана Марселевна

студентка, Московский государственный университет технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, Россия, г. Москва

ГИМАЛЕТДИНОВА Карина Низаметдиновна

студентка, Московский государственный университет технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, Россия, г. Москва

*Научный руководитель – старший преподаватель Московского государственного
университета технологий и управления имени К. Г. Разумовского
Хисамутдинова Гузаль Римовна*

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ WI-FI КАК ИНФРАСТРУКТУРНОЙ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРСОНАЛА В РЕСТОРАННОМ БИЗНЕСЕ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности использования Wi-Fi как инфраструктурной основы взаимодействия персонала ресторана на примере ресторана «Вид сверху» (г. Уфа). Отмечено, что беспроводная сеть в современном ресторане выполняет функцию гостевого сервиса и обеспечивает работу внутренних бизнес-процессов: прием заказов, передачу данных на кухню, работу кассовых и учетных систем, координацию сотрудников и выполнение требований законодательства при организации гостевого доступа. Определены ключевые требования к качеству связи, описаны принципы проектирования и эксплуатации сети в условиях ресторанной среды, а также подходы к оценке эффективности по операционным показателям.

Ключевые слова: Wi-Fi, ресторанный бизнес, персонал, внутренняя коммуникация, автоматизация обслуживания, сегментация сети, информационная безопасность, QoS/QoE, эффективность.

В ресторане «Вид сверху» (г. Уфа) беспроводная сеть обслуживает несколько типов служебной нагрузки, различающихся по скорости отклика и чувствительности к сбоям. Наиболее жесткие требования предъявляются к операциям, которые выполняются в момент контакта с гостем или сопровождают дальнейшее движение заказа внутри заведения. К ним относятся передача данных из зала, кассовые действия, синхронизация с учетной системой и обмен информацией между сотрудниками смены. Даже краткий разрыв соединения в таких условиях нарушает рабочую последовательность, увеличивает число повторных действий и замедляет обслуживание.

1. Функциональные сценарии использования Wi-Fi персоналом и требования к качеству связи

Наиболее чувствительными к качеству сети являются операции, связанные с приемом и изменением заказов, передачей данных в кухонные интерфейсы, кассовыми действиями и

синхронизацией с учетной системой. Даже кратковременные сбои в таких процессах могут привести к повторному вводу информации, задержке подачи блюд и росту числа уточнений между залом и кухней. В ресторанной практике это отражается не только на производительности персонала, но и на восприятии сервиса гостями.

Требования к Wi-Fi для персонала не сводятся к формальному наличию сигнала. Ключевыми характеристиками становятся стабильность соединения в течение всей смены, устойчивость при росте нагрузки, быстрое прохождение служебного трафика и корректная работа мобильных устройств, при перемещении сотрудников по залу. Для ресторана «Вид сверху» это особенно актуально в периоды высокой посещаемости, когда одновременно увеличивается число активных устройств и возрастает плотность пользователей в ограниченном пространстве. В таких условиях недостаточно ориентироваться только на гостевой интернет.

Сеть должна проектироваться с учетом внутренних процессов обслуживания.

2. Проектирование Wi-Fi-инфраструктуры для ресторана «Вид сверху» (г. Уфа)

Проектирование Wi-Fi-инфраструктуры для ресторана требует разделения задач гостевого доступа и служебной связи. Если вся нагрузка проходит через единый контур без приоритизации и ограничений, гостевой трафик начинает влиять на работу персонала, а это напрямую отражается на скорости обслуживания. Основой архитектуры становится сегментация сети, при которой служебные устройства, кассовые системы и гостевой доступ логически разделены и управляются по разным правилам.

Для ресторана «Вид сверху» целесообразно выделять отдельный служебный сегмент для мобильных терминалов персонала и управленческих устройств, отдельный контур для кассовой и иной критичной инфраструктуры, а также самостоятельный гостевой сегмент с обязательной авторизацией.

Поэтому на этапе проектирования необходимо заранее определять допустимое количество подключений, распределение трафика между сегментами и параметры оборудования, способного поддерживать стабильную работу сети при переменной интенсивности использования.

3. Эксплуатация Wi-Fi-сети, риски и оценка эффективности для персонала ресторана

Эксплуатация беспроводной сети в ресторане связана с поддержанием установленного режима подключения, контролем доступа и соблюдением порядка работы со служебными устройствами. Для ресторана «Вид сверху» это важно из-за постоянного использования мобильных терминалов, кассовых решений и учетных сервисов в рамках одной смены. При такой организации работы на первый план выходят своевременное выявление сбоев, фиксация инцидентов и координация действий сотрудников при нарушении связи.

При проектировании сети необходимо учитывать не только параметры сигнала, но и ее эксплуатационную устойчивость. Перебои в периоды пиковой нагрузки нарушают прием заказов, расчетные операции и передачу внутренних данных. По этой причине в инфраструктуре следует предусмотреть резерв покрытия, стабильное электропитание оборудования и централизованный контроль состояния сети.

После ввода сети в работу ключевое значение имеет порядок ее эксплуатации. Для заведения важны не только тарифные условия, но и стабильность канала, скорость технической поддержки, возможность настройки гостевого доступа с обязательной авторизацией и готовность сопровождать сеть в рабочем режиме.

Оценка эффективности Wi-Fi для персонала должна проводиться по операционным показателям, а не только по техническим параметрам сети. Для ресторана «Вид сверху» показательными являются скорость передачи заказа в систему кухни, среднее время обслуживания, число ошибок и повторных корректировок, частота сбоев мобильных устройств персонала и длительность инцидентов связи. При стабильной и правильно организованной сети сокращается время выполнения типовых операций, уменьшается количество ручных уточнений, повышается управляемость смены и улучшается качество обслуживания гостей.

Анализ организации беспроводной связи в ресторане «Вид сверху» позволяет сделать вывод о том, что Wi-Fi-инфраструктура в ресторанном бизнесе обеспечивает гостевой доступ к сети и функционирование внутренних операционных процессов, связанных с расчетным обслуживанием, обменом данными и координацией работы персонала.

В заключение стоит отметить, что результативность такой инфраструктуры определяется не отдельными техническими решениями, а согласованностью архитектуры сети, сегментации доступа, параметров покрытия и эксплуатационных процедур. Для ресторанов Уфы, в условиях высокой конкуренции и цифровизации сервиса, качественный Wi-Fi становится важным условием операционной устойчивости, сокращения потерь времени и повышения качества обслуживания.

Литература

1. Абасова З.У. Автоматизация в отрасли общественного питания / З.У. Абасова // Молодой ученый. – 2022. – № 19 (414). – С. 157-159.
2. Андриянов А.М. Компьютерные сети и сетевые технологии: учебное пособие / А.М. Андриянов. – Тюмень: ТИУ, 2023. – 79 с.
3. Костригина В.М., Урманшина Н.М., Хисамутдинова Г.Р. Влияние искусственного интеллекта на трансформацию делопроизводства в ресторанном бизнесе. Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие: сб. материалов X Всероссийской научно-практической

конференции, г. Донецк, 28. нояб. 2025 г. С. 202-205.

4. Костригина В.М., Урманшина Н.М., Хисамутдинова Г.Р., Искусственный интеллект и продвижение услуг ресторанного бизнеса. Международный научный журнал «Актуальные исследования». Октябрь, 2025. № 42 (277) Часть I. С. 15-16. ISSN 2713-1513

5. Махмудов Т.Н. Методы обеспечения

информационной безопасности беспроводных сетей / Т.Н. Махмудов, В.О. Захарова, Е.А. Салуев, К.А. Муравьев // Динамика сложных систем – XXI век. – 2023. – Т. 17, № 1. – С. 13-29.

6. Сансызбай С.Б. Тренды цифровой трансформации в ресторанном бизнесе и их влияние на потребительское поведение / С.Б. Сансызбай // Молодой ученый. – 2024. – № 50 (549). – С. 117-119.

KANTIMIROVA Diana Marselevna

Student, Moscow State University of Technology and Management
named after K. G. Razumovsky, Russia, Moscow

HIMALETDINOVA Karina Nizametdinovna

Student, Moscow State University of Technology and Management
named after K. G. Razumovsky, Russia, Moscow

*Scientific Advisor – Senior lecturer at the Moscow State University of Technology and Management
named after K. G. Razumovsky Khisamutdinova Guzal Rimovna*

FEATURES OF USING WI-FI AS AN INFRASTRUCTURAL BASIS FOR STAFF INTERACTION IN THE RESTAURANT BUSINESS

Abstract. The article discusses the features of using Wi-Fi as an infrastructural basis for the interaction of restaurant staff using the example of the restaurant "Top View" (Ufa). It is noted that the wireless network in a modern restaurant performs the function of a guest service and ensures the operation of internal business processes: receiving orders, transmitting data to the kitchen, operating cash registers and accounting systems, coordinating employees and meeting legal requirements when organizing guest access. The key requirements for the quality of communication are defined, the principles of network design and operation in a restaurant environment are described, as well as approaches to evaluating efficiency based on operational indicators.

Keywords: Wi-Fi, restaurant business, staff, internal communication, service automation, network segmentation, information security, QoS/QoE, efficiency.

МАКСИМОВ Никита Максимович

студент,

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,
Россия, г. Тула

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ современных методов оптического распознавания символов (OCR), рассматриваемых в контексте повышения точности, скорости и устойчивости к искажениям входных данных. Анализируются традиционные подходы, основанные на выделении признаков и сегментации, а также методы глубокого обучения, включая сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN) и архитектуры Transformer. Внимание уделяется гибридным моделям, комбинирующим CNN с механизмами внимания, и методам предварительной обработки для улучшения качества распознавания. Проводится количественное сравнение точности (метрика CER) и производительности на стандартизированных наборах данных. Выводы обосновывают переход от классических алгоритмов к нейросетевым архитектурам, обеспечивающим устойчивость к шумам, вариативности шрифтов и сложному структурированию текста. Подчеркивается необходимость адаптации методов под конкретные прикладные задачи, такие как обработка исторических документов, медицинских записей, технической документации.

Ключевые слова: оптическое распознавание символов, OCR, глубокое обучение, сверточные нейронные сети, Tesseract, CRNN, Transformer, сегментация символов, устойчивость к шумам.

Введение

Оптическое распознавание символов (OCR) остается фундаментальной задачей компьютерного зрения, заключающейся в преобразовании графических изображений текста в машиночитаемые символьные последовательности.

Несмотря на многолетнюю историю развития, современные вызовы, такие как распознавание рукописного текста, документов с низким качеством печати, сценарного текста (например, вывески, номерные знаки) и текста с произвольной ориентацией – требуют постоянного совершенствования методов.

Традиционные подходы, такие как матричное сопоставление, структурный анализ, демонстрируют высокую эффективность лишь в контролируемых условиях: стандартные шрифты, высокое разрешение, минимальный шум. Напротив, методы глубокого обучения, особенно сверточные и рекуррентные архитектуры, обеспечивают значительно более высокую обобщающую способность [1, 3].

Цель настоящей работы – провести систематический сравнительный анализ современных методов OCR, выделить их сильные и слабые

стороны, а также предложить критерии выбора оптимального метода для различных прикладных областей.

1. Классификация и эволюция методов OCR

Эволюция OCR традиционно делится на три поколения. Первое поколение (матричные методы) основано на попиксельном сравнении входного изображения с эталонными шаблонами. Высокая скорость при низкой устойчивости к геометрическим искажениям ограничивает их применение исключительно распознаванием печатных машинописных шрифтов.

Второе поколение (методы структурного или признакового анализа) выделяет характерные особенности символов (замкнутые контуры, пересечения, углы, конечные точки). Классическим представителем является алгоритм, реализованный в ранних версиях Tesseract, использующий адаптивное распознавание контуров [6].

Третье поколение основано на глубоких нейронных сетях. Доминирующей архитектурой стала CRNN (Convolutional Recurrent Neural Network), объединяющая CNN для извлечения пространственных признаков и RNN (обычно

двунаправленные LSTM) для моделирования последовательностей. Механизм Connectionist Temporal Classification (CTC) позволяет обучать сеть без точной посегментной разметки.

В последние два года активно развиваются архитектуры на основе Transformer, демонстрирующие превосходство в задачах

распознавания длинных последовательностей и текста с атрибутикой (шрифт, кегль) [4, 8].

2. Современные методы: архитектурные особенности

В таблице представлены основные современные методы OCR и их ключевые характеристики.

Таблица

Сравнительная характеристика современных методов OCR

Метод/ архитектура	Базовый принцип	Устойчивость к шумам	Скорость обработки	Требования к вычислительным ресурсам
Tesseract OCR (v4+)	LSTM + легаси-движок	Средняя	Высокая	Низкие (CPU)
EasyOCR	CNN + LSTM + CTC	Высокая	Средняя	Средние (GPU)
CRNN + CTC	CNN (VGG/ResNet) + BiLSTM	Высокая	Высокая	Средние
Transformer OCR (TrOCR)	Только Transformer (кодировщик-декодер)	Очень высокая	Низкая (без оп- тимизации)	Очень высокие
Attention OCR	CNN + механизм вни- мания	Высокая	Средняя	Высокие

Tesseract OCR версии 4 и выше (с поддержкой LSTM) остается наиболее распространенным решением благодаря открытому исходному коду и поддержке большого количества языков [9]. Однако в задачах распознавания рукописного текста или документов с артефактами сканирования он уступает специализированным моделям.

EasyOCR обеспечивает удобный интерфейс и предобученные модели для 80+ языков, поддерживая детекцию текста на естественных сценах.

Transformer-архитектуры (TrOCR) показывают лучшую точность на сложных наборах данных, но требуют тонкой настройки и значительных вычислительных мощностей [8].

3. Метрики сравнения и экспериментальные данные

Для количественного сравнения используются две основные метрики: CER (Character Error Rate) – частота ошибок на уровне символов, и WER (Word Error Rate) – на уровне слов. Дополнительно оценивается время обработки одного изображения (в секундах) и потребление памяти.

На наборе данных ICDAR 2019 (задача распознавания исторических документов) были получены следующие результаты (среднее по 1000 тестовым изображениям, 300 dpi) [5]:

- Tesseract 4.1.1: CER = 4,8%, время = 0,12 с/изобр.
- EasyOCR (версия 1.7): CER = 3,2%, время = 0,28 с/изобр.
- CRNN (ResNet-34 + BiLSTM): CER = 2,5%, время = 0,19 с/изобр.
- TrOCR (fine-tuned): CER = 1,8%, время = 0,85 с/изобр.

На наборе SVHN (цифры на фотографиях домов) разрыв между методами менее значителен, однако Tesseract демонстрирует падение точности (CER > 10%) из-за отсутствия специализированной предобработки.

4. Факторы, влияющие на выбор метода

При выборе конкретного метода OCR необходимо учитывать:

- Тип входных данных: печатный текст высокого качества (Tesseract), рукописный текст (CRNN + CTC), сценарный текст (EasyOCR, Transformer).
- Доступные ресурсы: для встраиваемых систем с ограниченной памятью предпочтителен Tesseract с легковесной моделью; для серверных решений CRNN или Transformer.
- Необходимость дообучения: если целевые шрифты отсутствуют в обучающей выборке, требуется архитектура, поддерживающая transfer learning.
- Многоязычность: EasyOCR и Tesseract обеспечивают нативную поддержку множества

языков, включая кириллицу и иероглифические письменности.

5. Перспективные направления

Среди перспективных направлений следует выделить: использование синтетических данных для аугментации обучающих выборок; разработку унифицированных архитектур, объединяющих детекцию и распознавание текста в едином энд-ту-энд подходе; адаптацию методов OCR для специфических источников – медицинских бланков с заполненными полями, исторических рукописей с выцветшими чернилами, технической документации с формулами [2, 7].

Заключение

Проведенный сравнительный анализ показывает, что классические методы OCR уступают нейросетевым архитектурам по ключевым показателям устойчивости и точности при работе с реальными зашумленными данными.

Наиболее сбалансированным решением для широкого круга задач является гибридная CRNN с CTC-декодированием. Transformer-архитектуры обеспечивают максимальную точность, но требуют значительных вычислительных затрат.

Рекомендуется дальнейшее развитие методов предварительной обработки и создание отраслевых бенчмарков для объективного сравнения.

Литература

1. Гонсалес Р.К. Цифровая обработка изображений / Р.К. Гонсалес, Р.Э. Вудс. – 4-е изд. – Москва: Техносфера, 2020.

2. Сойфер В.А. Методы компьютерного анализа текстовых документов / В.А. Сойфер, И.С. Гуревич // Компьютерная оптика. – 2021.

3. Goodfellow I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge: MIT Press, 2016.

4. Graves A. Connectionist Temporal Classification: Labelling Unsegmented Sequence Data with Recurrent Neural Networks / A. Graves, S. Fernández, F. Gomez, J. Schmidhuber // Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning (ICML). – 2006.

5. ICDAR 2019 Competition on Historical Document Reading. – [Электронный ресурс]. URL: <https://icdar2019.org/> (дата обращения: 10.04.2026).

6. Kay A. Tesseract: Open-Source OCR Engine / A. Kay. – [Электронный ресурс]. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/1288165.1288167> (дата обращения: 10.04.2026).

7. Li H. ABCNet: Real-time Scene Text Spotting with Adaptive Bezier-Curve Network / H. Li, P. Wang, C. Shen // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2020.

8. Li M. TrOCR: Transformer-based Optical Character Recognition with Pre-trained Models / M. Li, T. Lv, J. Chen et al. – 2021.

9. Smith R. An Overview of the Tesseract OCR Engine / R. Smith // Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). – 2007.

MAKSIMOV Nikita Maksimovich

Student, Tolstoy Tula State Pedagogical University, Russia, Tula

MODERN METHODS OF OPTICAL CHARACTER RECOGNITION: A COMPARATIVE ANALYSIS

Abstract. *This paper presents a comparative analysis of modern optical character recognition (OCR) methods, considering their improvements in accuracy, speed, and resilience to input data distortions. It examines traditional approaches based on feature extraction and segmentation, as well as deep learning methods, including convolutional neural networks (CNNs), recurrent neural networks (RNNs), and Transformer architectures. Attention is paid to hybrid models combining CNNs with attention mechanisms and preprocessing methods for improving recognition quality. A quantitative comparison of accuracy (the CER metric) and performance on standardized datasets is provided. The findings justify the transition from classical algorithms to neural network architectures that ensure resilience to noise, font variability, and complex text structuring. The need to adapt methods to specific applied tasks, such as processing historical documents, medical records, and technical documentation, is emphasized.*

Keywords: *optical character recognition, OCR, deep learning, convolutional neural networks, Tesseract, CRNN, Transformer, character segmentation, noise resilience.*

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

КОРОТКОВ Андрей Дмитриевич

магистрант,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ОТ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛОВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ МАШИННОГО ЗАЛА ЭНЕРГОЦЕНТРА

Аннотация. В статье представлена методика уточненного расчета тепловыделений от газотурбинной установки (ГТУ) в машинном зале энергоцентра. Рассмотрены конвективная и лучистая составляющие, тепловыделения от вспомогательного оборудования. Проведен анализ существующих нормативных методов и выявлены их недостатки. Выполнен детальный расчет для ГТУ мощностью 25 МВт с определением угловых коэффициентов при лучистом теплообмене и оценкой нестационарности тепловых потоков. С помощью CFD-моделирования выполнена верификация полученных значений. Показано влияние уточненных тепловыделений на вертикальный температурный профиль, требуемый воздухообмен и энергоэффективность системы вентиляции. Представлен технико-экономический анализ, подтверждающий целесообразность применения разработанной методики. Результаты могут быть использованы при проектировании и реконструкции систем обеспечения микроклимата энергоцентров.

Ключевые слова: газотурбинная установка, тепловыделения, машинный зал, энергоцентр, тепловоздушный режим, конвективный теплообмен, лучистый теплообмен, угловой коэффициент, CFD-моделирование, вентиляция, воздухообмен, энергоэффективность.

Введение

Современные энергоцентры на базе газотурбинных установок (ГТУ) характеризуются высокой плотностью тепловых потоков от работающего оборудования. Машинные залы таких объектов, как правило, имеют значительные объемы (высота 8–15 м) и насыщены источниками явного тепла: корпусами турбин, трубопроводами теплоносителей, генераторами, системами утилизации тепла. Неучтенные или приближенно оцененные тепловыделения приводят к ошибкам при расчете воздухообмена, перегреву рабочей зоны, повышенному износу электрооборудования и нерациональному расходу энергии на вентиляцию.

Существующие нормативные методики (СП 60.13330.2020, ведомственные нормы) предлагают упрощенные подходы: тепловыделения от оборудования принимаются как доля от установленной мощности или по табличным данным. Однако для ГТУ эти подходы дают разброс до 40–60%, так как не учитывают

специфику конструкции, режимы работы и взаимное влияние источников. Более точный расчет требует отдельного определения конвективной и лучистой составляющих, учета теплопередачи через изоляцию и оценки нестационарности режимов.

Цель настоящей работы: разработать и апробировать методику уточненного расчета тепловыделений от ГТУ, верифицировать её с помощью CFD-моделирования и оценить влияние на тепловоздушный режим машинного зала энергоцентра, а также на технико-экономические показатели системы вентиляции.

Объект исследования и исходные данные

В качестве объекта принят машинный зал энергоцентра с одной газотурбинной установкой типа ГТЭ-25 (номинальная электрическая мощность 25 МВт). Основные геометрические характеристики помещения: длина 24 м, ширина 18 м, высота 12 м. ГТУ расположена в центре зала на бетонном фундаменте, высота

корпуса турбины 4,5 м, площадь наружной поверхности (без учета трубопроводов) – 210 м². Температура наружного воздуха в расчетный теплый период принята +28,4 °С (для климатического района г. Москва). Внутренняя температура в рабочей зоне, согласно нормам, не должна превышать +28 °С.

Для расчета тепловыделений использованы паспортные данные ГТУ:

1. Электрическая мощность $N_{эл} = 25$ МВт;
2. Коэффициент полезного действия (электрический) $\eta_{эл} = 0,36$;
3. Температура выхлопных газов $t_{вых} = 520$ °С;
4. Расход топливного газа $G_{топ} = 1,48$ кг/с;
5. Температура корпуса турбины в зоне высокого давления $t_{корп} = 85$ °С (средняя по поверхности).

Анализ существующих методов расчета тепловыделений

В инженерной практике применяются три основных подхода к определению тепловыделений от технологического оборудования:

1. По нормативным таблицам (СП 60.13330, РТМ 36.18.32.4-92). Приводятся удельные тепловыделения на единицу мощности или площади. Для ГТУ рекомендуемый диапазон 1,5–3% от установленной мощности. Однако эти данные получены для оборудования прошлых поколений и не учитывают современные системы теплоизоляции.

2. По тепловому балансу установки. Определяются потери тепла через кожух и выхлопную систему как разность между подведенной тепловой мощностью и полезной работой. Этот метод более точен, но требует детальных тепловых расчетов.

3. Эмпирические корреляции (ASHRAE, VDI 2052). Предлагают коэффициенты для конвективной и лучистой составляющих в зависимости от температуры поверхности и геометрии.

Сравнительный анализ для рассматриваемой ГТУ показал:

1. По таблицам СП: $Q = 0,02 * 25000 = 500$ кВт (нижняя граница).
2. По тепловому балансу: подведенная мощность $Q_{топ} = G_{топ} * Q_{нр} = 1,48 * 48000 = 71040$ кВт, полезная электрическая мощность 25000 кВт, потери в выхлопе примерно 40 000 кВт, потери в кожух около 700–800 кВт.
3. По эмпирическим формулам ASHRAE:

600–650 кВт.

Разброс составляет 25–30%, что подтверждает необходимость уточненного расчета.

Методика уточненного расчета тепловыделений

Общие тепловыделения от ГТУ в помещение складываются из трех основных потоков:

1. Конвективная теплоотдача от нагретых поверхностей корпуса и трубопроводов;
2. Лучистый теплообмен между корпусом и внутренними поверхностями ограждений;
3. Тепловыделения от вспомогательного оборудования (генератор, маслосистема, насосы, электрические шкафы).

Конвективная составляющая

Конвективная теплоотдача от поверхности корпуса и трубопроводов рассчитывается по закону Ньютона-Рихмана:

$$Q_{конв} = \alpha_{конв} * F * (t_{пов} - t_{в}), \quad (1)$$

Где $\alpha_{конв}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м²°С); F – площадь поверхности, м²; $t_{пов}$ – температура поверхности, °С; $t_{в}$ – температура воздуха в помещении, °С.

Коэффициент $\alpha_{конв}$ определяется по критериальным уравнениям для свободной конвекции. Для вертикальных поверхностей корпуса при $t_{пов} - t_{в}$ и характерном размере 3–5 м число Грасгофа Gr достигает $10^{10} - 10^{11}$, что соответствует турбулентному режиму. Используем уравнение:

$$Nu = 0,15 * (Gr * Pr)^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

$$\alpha_{конв} = \frac{Nu * \lambda}{l}, \quad (3)$$

Для горизонтальных поверхностей (верх турбины) коэффициенты принимаются по справочным данным [4] с учетом ориентации (теплоотдача вверх). Для трубопроводов диаметром 200–500 мм используется формула для горизонтальных цилиндров.

Лучистая составляющая с учетом угловых коэффициентов

Лучистый теплообмен между корпусом ГТУ и ограждениями помещения в общем виде описывается системой уравнений. Для упрощения часто применяют формулу для двух серых тел, но при этом необходимо учитывать, что корпус облучает не только стены, но и потолок, а также другие поверхности. Введем угловые коэффициенты φ_{i-j} , показывающие долю излучения от поверхности i_j к поверхности j_i .

Общий лучистый поток от корпуса (индекс 1) ко всем ограждениям (индекс 2, 3, ...) вычисляется как:

$$Q_{луч} = \varepsilon_{пр} * C_0 * F_1 * \sum_{j=2}^n \varphi_{1j} * \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_j}{100} \right)^4 \right], \quad (4)$$

Для компактного источника в центре помещения угловые коэффициенты можно определить по методике [5] или по номограммам. Принимая стены и потолок как единую изотермическую поверхность с площадью $F_{огр}$ и средней температурой $T_{огр}$, а корпус – как параллелепипед, получим $\varphi_{1-огр} \approx 0,95$ (5% излучения уходит на пол, который не участвует в теплообмене с воздухом). Приведенная степень черноты:

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_{огр}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{огр}} - 1 \right)}, \quad (5)$$

$$c_{ст} * m * \frac{d * t_{пов}}{d * \tau} = Q_{внут} - \alpha_{конв} * F * (t_{пов} - t_{в}) - Q_{луч}, \quad (6)$$

Расчет показал, что за время пуска тепловыделения возрастают от 200 до 587 кВт, а после останова снижаются до 150 кВт в течение 40 минут. Средневзвешенные за цикл тепловыделения составили 520 кВт, что на 11% ниже номинальных. Однако для расчета максимальной нагрузки вентиляции следует ориентироваться на номинальный режим.

Тепловыделения от вспомогательного оборудования

Генератор, маслоохладители, насосы и электрошкафы расположены в машинном зале. Для них тепловыделения принимаются по паспортным данным или по нормативным таблицам [3]. В настоящей работе использованы:

1. Генератор: потери 1,5% от

Поскольку $F_{огр} \gg F_1$, $\varepsilon_{пр} \approx \varepsilon_1 = 0,85$.

Учет не стационарности при пусках и остановах

В режимах пуска и останова температура корпуса изменяется во времени, что приводит к изменению тепловыделений. Для оценки влияния на среднегодовую нагрузку системы вентиляции рассмотрен типовой цикл: пуск (2 часа), номинальный режим (10 часов), останов (1 час). Использовано уравнение теплового баланса для корпуса как сосредоточенной емкости:

номинальной мощности, то есть $Q_{ген} = 375$ кВт;

2. Маслосистема и насосы: 30 кВт;
3. Электрические шкафы: 15 кВт.

Общие тепловыделения

Суммарные явные тепловыделения от ГТУ и вспомогательного оборудования:

$$Q_{общ} = Q_{конв} + Q_{луч} + Q_{всп}, \quad (7)$$

Результаты расчета тепловыделений

Расчет проведен для двух характерных ситуаций: номинальный режим работы ГТУ и режим частичной нагрузки (50% мощности). В последнем случае температура корпуса снижается до 65°C, а тепловыделения от генератора пропорционально уменьшаются.

Таблица 1

Составляющие тепловыделений от ГТУ (номинальный режим)

Составляющая	Площадь/параметр	Значение, кВт
Конвекция корпус	210 м ² , $\alpha=8,2$ Вт/(м ² ·°C)	96,5
Конвекция трубопроводы	45 м ² , $\alpha=7,5$ Вт/(м ² ·°C)	12,1
Лучистый поток (с угловыми коэффициентами)	$\varepsilon = 0,85$, $T_{корп} = 358$ K	58,3
Генератор	-	375,0
Маслосистема	-	30,0
Электрошкафы	-	15,0
Итого		586,9 кВт

В режиме частичной нагрузки общие тепловыделения составили 345 кВт (снижение на 41%). При пуске максимальные значения достигают 620 кВт (за счет инерционности нагрева корпуса и работы генератора на холостом ходу).

Сравнение с приближенными методами (табличные 500 кВт) показывает, что последние дают занижение на 15% в номинальном режиме. При использовании только конвективной составляющей (без лучистой) погрешность достигает 25%. Таким образом, учёт лучистого теплообмена и генератора принципиально

важен.

Верификация методом CFD-моделирования

Для проверки точности полученных аналитических значений выполнено CFD-моделирование в программном комплексе Ansys Fluent. Рассматривалась стационарная задача тепловоздушного режима машинного зала.

Использованы:

1. Турбулентная модель SST k- ω (подходит для свободных конвективных течений);
2. Дискретизация – метод конечных

объемов;

3. Граничные условия: температура корпуса 85°C, поверхности ограждений – 30°C, приток воздуха снизу с расходом 34700 м³/ч при 20°C, вытяжка из верхней зоны.

Результаты моделирования:

1. Средняя температура в рабочей зоне (0–2 м) – 26,5°C (аналитическая 26,8°C);

2. Температура под потолком – 33,8°C (аналитическая 34,2°C);

3. Общий лучистый поток от корпуса к стенам – 54 кВт (аналитический 58,3 кВт).

Расхождение не превышает 7%, что подтверждает корректность предложенной методики. Небольшое занижение в CFD объясняется более точным учётом взаимного экранирования поверхностей и конвективных потоков, охлаждающих корпус.

Влияние тепловыделений на тепловоздушный режим

Вертикальное распределение температуры

В помещении высотой 12 м конвективные потоки от ГТУ формируют выраженную стратификацию. Для оценки использована модель В.Н. Богословского:

$$t_y = t_{\text{пр}} + \frac{Q_{\text{конв}}}{c \cdot \rho \cdot L} * \left(1 - e^{-\frac{\alpha_K \cdot P}{c \cdot \rho \cdot L} \cdot y}\right), \quad (8)$$

Где P – периметр поперечного сечения помещения, y – текущая высота. При $L=34700$ м³/ч получено:

$$t_{y=2} = 26,8^\circ\text{C}, t_{y=12} = 34,2^\circ\text{C}, \quad (9)$$

Расхождение составляет 7,4°C. Это подтверждает необходимость удаления воздуха из верхней зоны для снижения нагрузки на общеобменную вентиляцию.

Требуемый воздухообмен

Необходимый расход приточного воздуха для ассимиляции явных тепловыделений:

$$L = \frac{Q_{\text{общ}}}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}})}, \quad (10)$$

При $t_{\text{уд}} = 34,2^\circ\text{C}$, $t_{\text{пр}} = 20^\circ\text{C}$:

$$L = \frac{586900}{1,005 \cdot 1,2 \cdot (34,2 - 20)} = 34700 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (11)$$

Если бы тепловыделения были занижены на 20% (до 470 кВт), расчетный расход составил бы 27800 м³/ч. При таком расходе в реальных условиях температура в рабочей зоне поднялась бы до 29–30°C, что нарушает нормативные требования. Следовательно, корректный учет тепловыделений критически важен.

Эффективность систем вентиляции

Полученные результаты позволили уточнить режим работы вентиляционной установки. Для снижения энергопотребления предложено использовать регулируемый вытяжной клапан в верхней зоне с частотным регулированием вентилятора. Применение VAV-системы с поддержанием температуры в рабочей зоне $\pm 1^\circ\text{C}$ позволяет сократить годовой расход электроэнергии на 18–22% по сравнению с постоянным расходом.

Технико-экономическая оценка

Оценка экономического эффекта от применения уточненной методики выполнена для двух сценариев:

Базовый сценарий: проектирование по нормативным табличным тепловыделениям (500 кВт), расход воздуха 27800 м³/ч, постоянный режим работы.

Предлагаемый сценарий: уточненные тепловыделения (587 кВт), расход 34700 м³/ч, VAV-система с автоматическим регулированием.

Таблица 2

Сравнение эксплуатационных затрат (год)

Показатель	Базовый сценарий	Предлагаемый сценарий
Расход воздуха, м³/ч	27800	34700
Мощность вентилятора, кВт	22,5	28,0
Время работы на номинале, ч/год	8760	8760
Электроэнергия вентилятора, кВт·ч/год	197100	245280
Электроэнергия с учётом VAV (снижение на 20%), кВт·ч/год	-	196224
Затраты на электроэнергию (5 руб/кВт·ч), тыс. руб/год	985,5	981,1
Дополнительная тепловая энергия на подогрев притока (зимой), тыс. руб/год	-	+120
Итого эксплуатационные затраты, тыс. руб/год	985,5	1101,1

Казалось бы, предлагаемый сценарий дороже. Однако он обеспечивает нормативный микроклимат, тогда как в базовом сценарии температура в рабочей зоне летом превышает 28°C, что ведет к штрафам (до 300 тыс. руб/год), ухудшению условий труда и возможным отказам оборудования. При включении этих факторов чистая экономия от корректного проектирования составляет около 150–200 тыс. руб/год. Инвестиции в автоматизацию (VAV, ЧРП) окупаются за 2–3 года.

Выводы:

1. Разработана методика расчета тепловыделений от газотурбинной установки, включающая конвективную и лучистую составляющие с учетом угловых коэффициентов, а также тепловыделения от вспомогательного оборудования. Для типовой ГТУ мощностью 25 МВт суммарные явные тепловыделения в номинальном режиме составили 587 кВт, что на 15–20% выше значений, получаемых по упрощенным нормативным методам.

2. Лучистая составляющая (58 кВт) и тепловыделения от генератора (375 кВт) вносят основной вклад в формирование теплового баланса. Их игнорирование приводит к недоучету воздухообмена и перегреву помещения.

3. Выполнена оценка вертикального температурного профиля: расслоение температуры между рабочей зоной и потолком составляет более 7°C. Для эффективного удаления избыточного тепла необходимо проектировать вытяжку из верхней зоны.

4. С помощью CFD-моделирования подтверждена достоверность полученных аналитических значений (расхождение менее 7%). Предложенная методика может быть рекомендована для инженерных расчетов.

5. Уточненный расчет воздухообмена показал, что требуемый расход приточного

воздуха на 25% выше, чем при использовании заниженных тепловыделений. Это напрямую влияет на выбор вентиляционного оборудования и эксплуатационные затраты.

6. Технико-экономический анализ показал, что применение уточненной методики в сочетании с VAV-системой позволяет обеспечить нормативные условия труда и окупить дополнительные инвестиции за 2–3 года.

7. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых энергоцентров и при реконструкции существующих систем вентиляции.

Литература

1. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Минстрой России, 2020.
2. Богословский В.Н. Отопление и вентиляция: учебник для вузов / В.Н. Богословский, В.И. Новожилов. – М.: Стройиздат, 1991. – 624 с.
3. РТМ 36.18.32.4-92. Нормы расчета тепловыделений от технологического оборудования. – М.: ВНИИпроектэлектромонтаж, 1992.
4. Исаченко В.П. Теплопередача: учебник / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1981. – 416 с.
5. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
6. ASHRAE Handbook – HVAC Applications. – Atlanta: ASHRAE, 2019. – Chapter 18: Industrial Ventilation.
7. Кузнецов Н.И. Энергоэффективные системы вентиляции машинных залов ТЭС / Н.И. Кузнецов, В.М. Свистунов // Энергосбережение. – 2022. – № 5. – С. 28–34.
8. VDI 2052. Ventilation and air conditioning for gas turbine power plants. – Düsseldorf: VDI, 2018.

KOROTKOV Andrey Dmitrievich

Graduate Student,
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, St. Petersburg

CALCULATION OF HEAT EMISSIONS FROM A GAS TURBINE UNIT AND THEIR EFFECT ON THE AIR-HEAT REGIME OF THE POWER CENTER'S ENGINE ROOM

Abstract. *The article presents a methodology for the refined calculation of heat emissions from a gas turbine unit (GTU) in the engine room of an energy center. Convective and radiant components, heat generation from auxiliary equipment are considered. An analysis of existing regulatory methods has been carried out and their shortcomings have been identified. A detailed calculation has been performed for a GTU with a capacity of 25 MW with the determination of angular coefficients for radiant heat exchange and an assessment of the unsteadiness of heat flows. CFD modeling was used to verify the obtained values. The influence of the specified heat emissions on the vertical temperature profile, the required air exchange and the energy efficiency of the ventilation system is shown. A technical and economic analysis is presented, confirming the expediency of using the developed methodology. The results can be used in the design and reconstruction of microclimate supply systems for energy centers.*

Keywords: *gas turbine installation, heat dissipation, engine room, energy center, heat and air regime, convective heat exchange, radiant heat exchange, angular coefficient, CFD modeling, ventilation, air exchange, energy efficiency.*

ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

КОСТРИГИНА Виктория Михайловна

студентка, Башкирский институт технологий и управления (филиал)
Московского государственного университета технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, Россия, г. Мелеуз

УРМАНШИНА Нурзиля Минияровна

студентка, Башкирский институт технологий и управления (филиал)
Московского государственного университета технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, Россия, г. Мелеуз

*Научный руководитель – старший преподаватель Башкирского института технологий
и управления (филиала) Московского государственного университета технологий и управления
имени К. Г. Разумовского Хисамутдинова Гузаль Римовна*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И УМЕНЬШЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В РЕСТОРАННОМ БИЗНЕСЕ

Аннотация. Пищевые отходы – одна из самых острых проблем современной ресторанной индустрии. Каждый день рестораны по всему миру выбрасывают тонны продуктов, которые могли бы быть использованы более рационально. В нашей статье мы рассматриваем перспективы развития ИИ в борьбе с пищевыми отходами и повышение устойчивости ресторанного бизнеса.

Ключевые слова: пищевые отходы, ИИ, запасы, анализ, оптимизация, спрос, избыток товара.

Сегодня вопрос минимизации пищевых отходов становится всё более актуальным: потребители обращают внимание на устойчивость бизнеса и его вклад в защиту окружающей среды. Рестораны внедряют новые технологии учёта запасов, оптимизируют меню и обучают персонал ответственному отношению к продуктам. Важную роль в этом процессе играет использование современных информационных технологий, особенно искусственного интеллекта, который помогает более точно планировать закупки, контролировать качество продуктов и адаптировать предложение под потребности клиентов. Благодаря этим решениям рестораны могут значительно сократить пищевые отходы, снизить затраты и стать более экологически ответственными.

1. Технологические возможности ИИ для анализа спроса и оптимизации закупок

Современные компании сталкиваются с

необходимостью быстро реагировать на изменения рынка. Искусственный интеллект (ИИ) становится ключевым инструментом для анализа спроса и оптимизации закупок.

ИИ способен анализировать огромные массивы данных: от истории продаж до сезонных колебаний, влияния внешних факторов и поведения конкурентов. Благодаря машинному обучению прогнозы становятся точнее, а риск дефицита или избытка товаров – минимальным.

Одно из главных преимуществ ИИ – автоматизация рутинных процессов. Системы могут самостоятельно формировать заявки на закупку, исходя из актуальных потребностей и прогнозируемого спроса. Это сокращает время принятия решений и снижает человеческий фактор.

Кроме того, ИИ помогает выявлять скрытые закономерности в поведении покупателей, что

позволяет адаптировать ассортимент под реальные потребности рынка. Современные решения интегрируются с ERP-системами, обеспечивая прозрачность всех этапов закупочной цепочки.

2. Использование ИИ для контроля качества продуктов и предотвращения порчи

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) становятся незаменимыми в пищевой промышленности, особенно когда речь идет о контроле качества продуктов и предотвращении их порчи. Благодаря нейросетям и машинному обучению компании могут автоматизировать процессы проверки свежести, выявлять дефекты упаковки или отклонения в составе продукта.

ИИ-системы анализируют изображения товаров на конвейере, определяя наличие плесени, пятен или других признаков испорченности. Такие решения работают быстрее человека и минимизируют человеческий фактор. Кроме того, с помощью датчиков и IoT-устройств можно отслеживать температуру хранения на всех этапах логистики – если условия нарушаются, система мгновенно сигнализирует ответственным сотрудникам.

Еще один плюс – прогнозирование срока годности на основе собранных данных: ИИ способен учитывать множество факторов (влажность, температура, время транспортировки) и точно предсказывать момент возможной порчи.

Внедрение подобных технологий не только снижает потери из-за испорченных товаров, но и повышает доверие покупателей к бренду за счет стабильного качества продукции.

В результате компании получают не только экономию ресурсов, но и конкурентное преимущество: быстрее реагируют на изменения рынка и предлагают клиентам то, что им действительно нужно.

ИИ-технологии уже сегодня меняют подход к управлению закупками – стоит воспользоваться их возможностями!

3. Перспективы развития технологий ИИ для дальнейшего снижения пищевых отходов

Проблема пищевых отходов становится всё более острой, и технологии искусственного интеллекта (ИИ) способны сыграть ключевую роль в её решении. Сегодня ИИ уже помогает

прогнозировать спрос на продукты, оптимизировать запасы и автоматизировать процессы на складах и в магазинах.

Один из перспективных направлений – использование нейросетей для анализа данных о продажах, погоде и праздниках. Это позволяет точнее планировать закупки, минимизируя излишки. Кроме того, развивается компьютерное зрение: умные камеры могут выявлять продукты с истекающим сроком годности или повреждённой упаковкой, чтобы их вовремя реализовать с уценкой или передать на благотворительность.

В будущем ожидается интеграция ИИ во все этапы цепочки поставок – от фермерских хозяйств до конечного потребителя. Системы будут отслеживать движение товаров в реальном времени и подсказывать оптимальные решения для перераспределения ресурсов.

Также набирают популярность приложения для домашних пользователей: они напоминают о скором истечении срока годности продуктов в холодильнике и предлагают рецепты из имеющихся ингредиентов.

Развитие ИИ позволит не только снизить объёмы пищевых отходов, но и повысить эффективность бизнеса, внести вклад в экологию и сделать питание более доступным для всех слоёв населения.

Литература

1. Костригина В.М., Урманшина Н.М. Искусственный интеллект и продвижение услуг ресторанного бизнеса // Актуальные исследования. 2025. № 42 (277). Ч. I. С. 15-17. URL: <https://apni.ru/article/13318-iskusstvennyj-intellekt-i-prodvizhenie-uslug-restorannogo-biznesa>.
2. Пищевые отходы под контролем искусственного интеллекта – URL: <https://share.google/2oy5tTahY8h9VOV90>.
3. ИИ помогает ресторанам сократить пищевые отходы – URL: <https://share.google/CIYMjSOxJOubqYtgI>.
4. Оптимизация работы ресторана, с целью уменьшения количества отходов – URL: <https://human.snauka.ru/2022/05/49713>.
5. Искусственный интеллект и ресторанный бизнес – URL: <https://dzen.ru/a/Za9ygfqCO1XCoy7J?ysclid=ml5cz3ysrl486500295>.

KOSTRIGINA Viktoriya Mikhailovna

Student, Bashkir Institute of Technology and Management (branch)
Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky,
Russia, Meleuz

URMANSHINA Nurzilya Miniyarovna

Student, Bashkir Institute of Technology and Management (branch)
Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky,
Russia, Meleuz

*Scientific Advisor – Senior lecturer at the Bashkir Institute of Technology and Management (branch)
Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky
Khisamutdinova Guzal Rimovna*

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND REDUCING FOOD WASTE
IN THE RESTAURANT BUSINESS**

Abstract. *Food waste is one of the most acute problems of the modern restaurant industry. Every day, restaurants around the world throw away tons of products that could have been used more efficiently. In this article, we consider the prospects for the development of AI in the fight against food waste and increasing the sustainability of the restaurant business.*

Keywords: *food waste, AI, stocks, analysis, optimization, demand, excess of goods.*

ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, РЕЛИГИОВЕДЕНИЕ

АКУЛЬШИН Василий Сергеевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России Дрягин Сергей Викторович

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СОВЕТСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ: ОТ ПЕРВЫХ ОПЫТОВ ДО МАССОВОГО ВЕЩАНИЯ

Аннотация. В работе анализируются актуальные вопросы становления и эволюции отечественного телевидения в период с конца 1920-х до конца 1970-х гг., хронология развития телевизионных технологий советского времени. Особое внимание уделяется ключевым этапам развития: от первых экспериментов с механическим телевидением и запуска регулярного вещания в Москве до преодоления последствий Великой Отечественной войны и перехода к массовому электронному вещанию. Изучаются технологические прорывы, рассматриваются инфраструктуры, а также выявляется роль телевидения как важнейшего инструмента идеологии, образования и формирования советской культуры. Рассматриваются отдельные основы государственного регулирования отрасли, специфика конкретной политики и влияние телевидения на повседневную жизнь населения. В статье раскрываются исторические вехи трансформации конкретного технического средства в главный элемент досуга и быта советского человека.

Ключевые слова: советское телевидение, экспериментальное вещание, массовое вещание, телецентр Шаболовка, механическое телевидение, электронное телевидение, регулярное вещание, советское общество, медиакультура, идеология, технический прогресс, СССР.

Развитие советского телевидения в 1920-е гг. опиралось на достижения радиотехники и электроники. Первые механические системы передачи изображения, разработанные под руководством Л. С. Термена и П. В. Шмакова, демонстрировали ограниченные возможности, но заложили фундамент для будущих инноваций. Успехи в области радиовещания создали технологическую базу для передачи сигналов на расстояние. Параллельно велись исследования по преобразованию световых сигналов в электрические импульсы, что стало ключевым для телевизионных систем. Советские учёные изучали зарубежный опыт, включая разработки Пола Нипкова и Джона Бэрда. К концу 1920-х гг. в СССР сформировались технические предпосылки для создания телевизионных устройств. Были разработаны первые фотоэлементы и усилители сигнала, необходимые для передачи изображения. Одновременно

совершенствовались методы модуляции радиоволн, что обеспечивало возможность вещания. Эти достижения подготовили почву для перехода к экспериментальным трансляциям.

Основополагающий вклад в развитие телевидения внесли Б. Л. Розинг и В. К. Зворыкин. Розинг в 1907 г. запатентовал метод электронной передачи изображения с использованием катодной трубки. Его эксперименты 1911 г. доказали возможность воспроизведения простых геометрических фигур. Эти работы заложили принципы современного электронного телевидения. В советских лабораториях 1930-х гг. велись активные работы по созданию экспериментальных телевизионных систем. Разрабатывались как механические, так и электронные устройства для передачи изображения.

1 октября 1931 г. в СССР началось регулярное телевизионное вещание. Для передачи изображения использовался диск Нипкова.

Первые трансляции осуществлялись с использованием механических систем разложения изображения. Техническая база была ограничена, но эти опыты стали важным этапом в развитии вещания. Организацией передач занимались специалисты Всесоюзного электротехнического института. Ленинград подключился к экспериментальному вещанию несколько позже, создав собственную техническую базу. Развитие двух центров телевидения позволило сравнивать различные технические подходы.

Исследователи активно работали над увеличением числа строк развертки для улучшения детализации. Аудитория первых трансляций ограничивалась коллективными точками просмотра в домах культуры и научных учреждениях. Количество принимающих устройств исчислялось десятками на весь город. Географическое покрытие сигнала не превышало радиуса нескольких километров от передатчика. Эти факторы сдерживали превращение телевидения в массовый медиаканал.

Ключевым достижением стал переход от механических систем к электронным, что повысило качество передачи изображения. В Москве и Ленинграде были созданы первые экспериментальные телевизионные центры, оснащенные передатчиками малой мощности. Параллельно велись работы по созданию массовых телевизионных приемников. Советские инженеры разработали модели типа «ТК-1» и «ВРК», которые использовались в коллективных точках просмотра. Содержание передач строго контролировалось и соответствовало идеологическим установкам времени. Формирование программной сетки происходило с учетом технических ограничений и задач пропаганды. Вещание велось преимущественно в вечерние часы, когда население могло собираться у телевизоров в общественных местах.

Организация телевизионной инфраструктуры требовала координации усилий государственных институтов. Всесоюзный комитет по радиофикации и радиовещанию осуществлял общее руководство развитием отрасли. Промышленные предприятия получали плановые задания по выпуску оборудования, а научно-исследовательские институты разрабатывали новые технические решения.

В предвоенный период советское телевидение активно использовалось как инструмент идеологического воздействия на население.

Основной акцент делался на формировании положительного образа социалистического строя и достижений государства. Программы транслировали парады, спортивные мероприятия и выступления партийных деятелей, подчеркивая мощь страны. Такие трансляции создавали картину единства народа и руководства. С началом Великой Отечественной войны телевидение претерпело значительные изменения. Регулярные передачи из Москвы были прекращены, а технические ресурсы переориентированы на военные нужды. Однако в блокадном Ленинграде вещание продолжалось, выполняя важную мобилизационную функцию. Телевидение должно было мобилизовать духовные силы народа для победы над врагом. Телевизионные программы военного времени отличались прагматичностью и оперативностью. Основное место занимали сводки Совинформбюро, инструкции по гражданской обороне и противовоздушной защите. Несмотря на трудности, телевидение сохраняло роль важного канала информации. Регулярные передачи создавали ощущение единства фронта и тыла, подчеркивая общность целей.

После окончания Великой Отечественной войны восстановление телевизионной инфраструктуры стало приоритетной задачей советского правительства. Разрушенные передающие станции и производственные мощности требовали масштабных ремонтных работ. Московский телецентр на Шаболовке стал первым объектом, восстановленным в послевоенный период. К маю 1946 г. техническая база была приведена в рабочее состояние. Это позволило возобновить регулярное вещание в столице. Возобновление трансляций из Москвы имело символическое значение, демонстрируя возрождение мирной жизни. Ключевым достижением стало завершение строительства коаксиальной кабельной линии Москва–Ленинград в 1948 г., позволившей организовать регулярный обмен телевизионными программами между двумя крупнейшими городами. Эта магистраль послужила образцом для последующего расширения сети межрегиональных связей.

Советские инженеры осуществили переход на новый стандарт вещания с разложением на 625 строк, что значительно повысило четкость изображения. Внедрение системы с чередованием полей в 1950 г. позволило устранить

мерцание экрана и улучшить восприятие картинки. Повышение качества сигнала сопровождалось модернизацией передающей аппаратуры и приемных устройств.

Отечественная промышленность освоила серийный выпуск телевизионной техники на заводах Москвы, Ленинграда и Александрова. Это позволило сократить зависимость от импортных комплектующих и создать замкнутый цикл производства. Массовый выпуск телевизоров марки КВН-49, а позднее более совершенных моделей «Рекорд» и «Рубин», сделал приемники доступными для населения. К 1955 г. годовой объем производства телевизоров превысил 500 тыс. экземпляров. К 1960 г. парк телевизоров в стране превысил 5 млн единиц, что создавало техническую базу для развития массового вещания.

Стратегия расширения зоны покрытия включала строительство сети ретрансляционных станций малой и средней мощности. Эти объекты возводились вдоль основных транспортных магистралей и вблизи крупных населенных пунктов. К началу 1960-х гг. количество ретрансляционных точек превысило 70, что обеспечило доступ к телевизионному сигналу для 70% населения европейской части СССР. С 1950 по 1975 гг. количество телецентров увеличилось с трёх в крупнейших городах до общенациональной сети. Расширение инфраструктуры способствовало формированию массовой аудитории, превращая телевидение из элитарного технического новшества в общедоступный медиум.

Советское телевидение формировалось как инструмент государственной политики под прямым руководством партийных органов. Ключевые решения о развитии телевидения принимались на уровне ЦК КПСС и Совета Министров СССР, определяя стратегические направления. Нормативные акты закрепляли монополию государства на телевизионное производство и распространение контента. Такая система обеспечивала полный контроль над содержанием вещания в соответствии с идеологическими задачами. Институциональное оформление телевидения завершилось созданием Гостелерадио СССР в 1970 г. Создание Гостелерадио СССР в ранге союзно-республиканского министерства, доведенная до абсолюта централизация контроля программной политики ТВ, выдвижение ТВ на первое по

значимости место в системе СМИ – все эти мероприятия свидетельствовали, что КПСС возлагает на телевидение особые задачи и связывает с ним особые ожидания. Внедрение спутниковых технологий в 1970-х гг. позволило охватить вещанием отдалённые регионы страны.

Система контроля содержания включала многоуровневую цензуру на всех этапах производства программ. Сценарии и концепции передач утверждались художественными советами с участием партийных представителей. Редакционные отделы Гостелерадио осуществляли предварительный и последующий контроль эфирного материала. Такие механизмы гарантировали соответствие контента текущим идеологическим установкам.

Новостные выпуски, такие как программа «Время», служили главным инструментом донесения официальной позиции государства до массовой аудитории. Они формировали единую интерпретацию событий, сочетая актуальную информацию с идеологическими комментариями. Телевидение создавало целостную картину мира, где советский человек видел себя частью великого исторического процесса. Литературные чтения и музыкальные передачи, такие как «Голубой огонёк», представляли искусство как отражение духовного богатства советского народа. Телевидение стало важным каналом сохранения культурного наследия, адаптируя его к требованиям эпохи. Трансляции балетов Большого театра или экранизации русской классики демонстрировали преемственность традиций. Программы для молодёжи, такие как «АБВГДейка» или «Спокойной ночи, малыши!», закладывали основы морального облика. Телевидение взяло на себя роль общесоюзного педагога, формируя не только знания, но и поведенческие модели.

К 1970-м гг. телевидение стало основным источником информации для большинства советских граждан, вытеснив традиционные СМИ. Ежедневный просмотр телепрограмм превратился в устойчивый ритуал, формирующий представления о текущих событиях внутри страны и за рубежом. Централизованная система вещания обеспечивала единообразие транслируемого контента, что способствовало созданию унифицированной картины мира. Телевидение играло ключевую роль в конструировании коллективной

идентичности, объединяя граждан общими медийными переживаниями. Прямые трансляции праздничных парадов и космических запусков создавали эффект сопричастности к историческим событиям. Символическое единство общества подкреплялось регулярным показом ритуальных практик советской идеологии: съездов КПСС, вручения государственных наград, встреч с героями труда.

Зарождение советского телевидения в 1920-1930-е гг. представляло собой уникальный синтез технических инноваций и идеологического проектирования. Экспериментальные трансляции этого периода, несмотря на ограниченный охват, продемонстрировали принципиальную возможность использования нового медиа в государственных интересах. Первые опыты стали фундаментом для последующей институционализации телевидения как части общественно-политической жизни страны. В предвоенные годы и период Великой Отечественной войны телевидение подтвердило свой пропагандистский потенциал, трансформировавшись из экспериментальной технологии в инструмент мобилизации масс. Несмотря на ограниченность технической инфраструктуры, вещание активно использовалось для укрепления патриотических настроений и поддержания морального духа населения. Послевоенная модернизация телевидения стала периодом беспрецедентного технологического рывка и системного расширения охвата аудитории. Создание общенациональных сетей и совершенствование технической базы превратили телевидение в массовый социальный институт, доступный миллионам советских граждан. Расширение вещания стало не просто инженерным достижением, но инструментом формирования единой советской идентичности.

Телевидение превратилось в повседневный атрибут жизни граждан, ненавязчиво транслирующий государственные ценности и поведенческие модели.

Литература

1. Бекмагамбетов Р.К., Бекмагамбетова М.Ж., Бимолданова А.А. Советская периодика как отражение идеологии в отношении детства (на материалах журнала «Балдырган») // Вестник карагандинского университета. – 2024. – № 1. – С. 40-50.
2. Борисов В.П. Возрождение отечественного телевидения с окончанием Второй мировой войны // Управление наукой: теория и практика. – 2023. – № 2. – С. 129-134.
3. Волкова И.И. «Весёлые ребята» как новаторский игровой формат советского телевидения // Сэтгүүл зүй. – 2017. – № 18. – С. 129-133.
4. Жукова О.Г. Культурный фронт Великой Отечественной войны и второе рождение советского телевидения // Научные труды московского гуманитарного университета. – 2025. – № 6. – С. 4-8.
5. Казначеев Ю.И. Обоснование выбора телевизионного стандарта СССР. – М.: Рукопись, 1944. – 64 с.
6. Лейтес Л.С. История техники телевидения – новые факты и вопросы // Mediavision. – 2010. – С. 71-75.
7. Росселевич И.А. Отечественному телевидению – 50 лет // Техника средств связи. Серия техника телевидения. – Москва, 1981. – С. 3-5.
8. Чернов Ф.М. Телевидение в социально-историческом аспекте // Вестник КРСУ. – 2008. – № 7. – С. 167-171.

AKULSHIN Vasily Sergeevich

Employee, Academy Federal Security Service of Russia, Russia, Oryol

Scientific Advisor – Employee of the Academy Federal Security Service of Russia

Dryagin Sergei Viktorovich

THE HISTORY OF THE CREATION AND DEVELOPMENT OF SOVIET TELEVISION, FROM THE FIRST EXPERIMENTS TO MASS BROADCASTING

Abstract. *This work analyzes the current issues of the formation and evolution of domestic television from the late 1920s to the late 1970s, as well as the chronology of the development of television technologies during the Soviet era. Special attention is given to the key stages of development, from the first experiments with mechanical television and the launch of regular broadcasting in Moscow to overcoming the consequences of the Great Patriotic War and transitioning to mass electronic broadcasting. The work explores technological breakthroughs, examines the infrastructure, and highlights the role of television as a crucial tool for ideology, education, and the formation of Soviet culture. The article examines the individual foundations of state regulation of the industry, the specifics of specific policies, and the impact of television on the daily lives of the population. The article reveals the historical milestones of the transformation of a specific technical device into the main element of leisure and everyday life for the Soviet people.*

Keywords: *Soviet television, experimental broadcasting, mass broadcasting, Shabolovka TV center, mechanical television, electronic television, regular broadcasting, Soviet society, media culture, ideology, technological progress, USSR.*

ЩЕТИНИН Даниил Геннадьевич

студент,

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,
Россия, г. Тула

НЕМЦЫ В СТОЛИЦЕ И ПРОВИНЦИИ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ: СОЦИАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ И ПОВСЕДНЕВНАЯ ЖИЗНЬ (XVIII – НАЧАЛО XX в.)

Аннотация. Статья посвящена сравнительному анализу социальной интеграции и повседневной жизни немецкого этноса в Российской империи XVIII – начала XX века на примере двух локаций – столичного Санкт-Петербурга и провинциальной Тулы. В работе показано, что в Санкт-Петербурге, благодаря многотысячной диаспоре и развитой институциональной среде, сложилась элитарная модель интеграции, основанная на государственной службе, науке и придворной карьере при сохранении этнокультурной автономии. В Туле, напротив, при малой численности общины и отсутствии разветвленной национальной инфраструктуры, доминировала профессионально-производственная модель: интеграция происходила через узкие, но критически важные каналы – оборонную промышленность, предпринимательство и медицину. Сравнение повседневных практик выявляет биполярную структуру расселения в столице и компактную заводскую среду в провинции, где тесные контакты с русским населением и отсутствие собственной кирхи до середины XIX века ускоряли аккультурацию.

Ключевые слова: немцы в России, социальная интеграция, повседневная жизнь, Санкт-Петербург, Тула, Российская империя, XVIII–XIX века, этническая идентичность, лютеранство, профессиональная миграция, оружейное производство, предпринимательство.

Введение

Изучение истории немецкого этноса в России XVIII – начала XX веков традиционно занимает важное место в отечественной и зарубежной историографии. Немцы не просто являлись крупнейшим иностранным сообществом империи, но и выступали активным агентом модернизации, глубоко вплетаясь в социальную ткань российского общества. Для понимания механизмов этого сосуществования ключевое значение приобретают концепты «социальной интеграции» и «повседневной жизни».

Под социальной интеграцией в контексте данного исследования понимается многогранный процесс включения представителей немецкого этноса в структуру российского общества. Этот процесс не тождественен полной ассимиляции, а напротив, подразумевает адаптацию к правовым, экономическим и сословным нормам империи при сохранении уникальных культурных и религиозных черт. Таким образом, интеграция рассматривается как поиск «социальной ниши», в которой профессиональные компетенции немцев становились востребованным ресурсом для государства.

Понятие «повседневная жизнь» позволяет сместить фокус с глобальных политических событий на «человеческое измерение» истории. Повседневная жизнь в данном исследовании понимается как совокупность рутинных практик – расселения, семейного уклада, конфессиональных привычек, языковой среды и досуга, через которые можно измерить степень сохранения этнической идентичности и глубину интеграции в принимающее общество. Исследование повседневности позволяет увидеть разницу между «немецким миром» столицы, где существовали замкнутые национальные кварталы и школы, и бытом немцев в Туле, где тесное взаимодействие с русским окружением диктовало иные модели поведения.

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью переосмысления опыта межкультурного диалога в региональном разрезе. Сопоставление столичного и провинциального на примере Санкт-Петербурга и Тулы, сценариев жизни немецкого населения позволяет выявить, как общеимперские тенденции преломлялись в локальной специфике города мастеров.

Исторический контекст

Основой для массового появления немцев в российских регионах стал Манифест Екатерины II 1763 года, даровавший иностранцам широкие права и свободы для поселения в империи [5]. Если в XVIII веке миграция носила преимущественно колонизационный характер, т. е. заселение пустующих земель, то к XIX веку акцент сместился на профессиональную миграцию специалистов.

Сравнительный анализ статистических данных – от этнографических описаний Г. Паули 1862 года до Первой всеобщей переписи 1897 года – демонстрирует устойчивую динамику роста немецкого присутствия в Тульской губернии. Увеличение численности носителей немецкого языка почти в четыре раза свидетельствует о формировании в регионе устойчивой профессиональной ниши, которую занимали выходцы из немецкой среды [1]. При этом малая численность общины, а это менее тысячи человек на всю губернию, в сопоставлении с многотысячным «немецким Петербургом», подчеркивает уникальный характер провинциальной интеграции: здесь немецкое население выступала не как замкнутая этническая группа, а как высокостатусная интеллектуальная элита, чье влияние определялось не количеством, а качеством социального вклада [8].

Социальная интеграция

В столице империи социальная интеграция немцев происходила преимущественно по двум формам: придворно-бюрократической и профессионально-цеховой.

Придворно-бюрократическая форма была связан с Табелью о рангах, введенной Петром I. Остзейские немцы занимали ключевые позиции при дворе уже в первой четверти XVIII века. Показателен пример семьи Крамеров. Анна Регина Крамер, дочь нарвского обер-фискала, десятилетней девочкой была взята в русский плен, однако в 1714–1716 годах вошла в штат прислужниц Екатерины I и стала влиятельной придворной дамой. Позднее она получила мызу Йоала близ Нарвы, а её братья – монополию на вывоз леса за границу, что положило начало купеческому, а затем и баронскому роду Крамеров, возглавлявшему многие торговые предприятия столицы [3, с. 23–24]. Этот случай демонстрирует, как даже выходцы из незнатных семей через службу при дворе и

личную преданность монарху могли интегрироваться в высшие слои имперского общества.

Профессионально-цеховая форма открывала возможности для немецких ремесленников и специалистов. Немецкое сообщество Петербурга в имперский период не было однородным: наряду с прибалтийскими дворянами заметную роль играли городские обыватели (мещане, посадские) и колонисты, занимавшиеся ремеслом. Важной институциональной особенностью стало разделение цехов Санкт-Петербурга на российские и иностранные (преимущественно немецкие), закреплённое Уставом цехов в конце XVIII века. Эта система позволяла немецким мастерам сохранять профессиональную автономию, одновременно интегрируясь в городскую экономику [9, с. 28].

Профессиональная специализация немцев в Петербурге охватывала широкий спектр: врачи, аптекари, архитекторы, педагоги, военачальники, мореплаватели. У истоков Петербургской Академии наук стояли немцы Лейбниц, Блюментрост (личный врач Петра I); в первые годы работы академии из 111 её членов 67 были немецкого происхождения. Такие архитекторы из числа немцев как Н. Ф. Гербель, Г. И. Маттарнови, А. Шлютер, А. И. Штакеншнейдер, определили архитектурный облик центра Петербурга. Аптека Пеля на Васильевском острове стала первой и самой знаменитой в городе; педиатр Раухфус и гинеколог Отт дали имена петербургским больницам [4].

Таким образом, для петербургских немцев социальная интеграция означала включение в имперскую элиту через Табель о рангах и профессиональную деятельность, признанную государством. Уже к концу XVIII века сложилась устойчивая «служилая» немецкая элита, которая при сохранении лютеранской идентичности активно участвовала в политической, научной и культурной жизни столицы.

В Туле, в отличие от столицы, социальная интеграция немцев строилась преимущественно вокруг военно-промышленного комплекса и предпринимательской деятельности.

Интеграция через оружейное производство имела глубокие корни. Тула с давних пор обязана своим развитием иноземцам, успехами в оружейном мастерстве [7]. После русско-турецкой войны 1877–1878 годов на русскую службу поступил оружейный мастер из Штутгарта Людвиг Пауль Аммон. Обосновавшись в

Туле, которую считал центром оружейного дела, он в 1886 году открыл на улице Площадной гальванопластическую мастерскую, сырьё для которой получал из Лейпцига и Вены. На основе этой мастерской позже вырос Тульский радиотехнический завод «Октава» [7]. Этот пример показывает, как немецкий специалист через военную службу и последующую частную инициативу интегрировался в промышленную структуру города, оставив долговременное наследие.

Интеграция через предпринимательство и купечество открывала другой путь. После отмены крепостного права 1861 года в России началось бурное развитие капиталистических отношений, и иностранцы, обладавшие капиталом и опытом, активно вкладывались в производство. Прусский предприниматель Эмиль Климентьевич Вернекин в 1862 году прибыл в Россию, записался в московское купечество, а затем переселился в Тулу, где построил сахарный завод. Он первым наладил производство плиточного сахара вместо сахарных голов и открыл угольные копи в Тульской губернии. Первыми шахтёрами и забойщиками были немцы, которые затем обучили угледобыче туляков [7].

Интеграция через смену идентичности демонстрирует ещё один механизм – добровольную аккультурацию в кризисные периоды. С началом Первой мировой войны и принятием «Ликвидационных законов» 1915 года, национализировавших земельные владения российских немцев, многие представители немецкой общины Тулы столкнулись с давлением. Показательна судьба Фёдора Фёдоровича Зафтлебена. Его отец, мещанин Фриц Карл Зафтлебен, приехал в Тулу из Дерпта (ныне Тарту). Сам Фёдор Фёдорович стал преемником династии Баташёвых, возглавив «Товарищество паровой самоварной фабрики наследников В. С. Баташёва», и занимал пост директора Мариинского детского приюта. В 1915 году он подал прошение о даровании его семье фамилии Баташёвы, и в виде монаршей милости прошение было исполнено спустя год [7]. Этот случай иллюстрирует стратегию интеграции через смену фамилии и ассимиляцию в русскую купеческую среду как реакцию на внешнее давление.

Профессиональная среда тульских немцев отличалась от петербургской. Если в столице немцы были представлены во всех слоях – от

высшей аристократии до ремесленников, то в Туле они концентрировались в сферах, связанных с промышленностью: инженеры, мастера оружейного дела, управляющие заводами, аптекари, купцы. При постройке свеклосахарных заводов графов Бобринских в Тульской губернии большинство директоров и управляющих были немцами или бельгийцами [7]. Однако, в отличие от столицы, здесь практически не было «служилого» дворянства – лишь единицы добивались дворянства за выслугу лет, а правовой статус чаще определялся как «иностранцы-специалисты» с контрактом с последующим переходом в подданство и причислением к мещанству или купечеству.

Повседневная жизнь

Сравнение Петербурга и Тулы по этой характеристике выявляет устойчивые различия, обусловленные характером профессиональной занятости и институциональной средой.

Расселение и жилище

В Санкт-Петербурге расселение немцев отражало их социальную стратификацию. Немецкая элита – придворные, высшие чиновники, академики – селилась в престижных районах центра: на Васильевском острове, Невском проспекте, в Адмиралтейской части. Здесь же располагались главные лютеранские церкви – Петрикирхе (Невский проспект, 22–24) и Анненкирхе (Кирочная улица), ставшие центрами общественной жизни диаспоры. Для немецких колонистов, приглашённых Екатериной II, были созданы отдельные поселения в окрестностях столицы. В 1765–1766 годах возникли Среднерогатская и Ижорская (Колпинская) колонии, а также Новосаратовская колония под Петербургом. Позже, в 1830–1860-е годы, появились колонии в Овцыно, Янино, Приютино, Ковалево и у деревни Мурино. Жизнь колонистов строго регламентировалась «Инструкцией для внутреннего распорядка и управления в Санкт-Петербургских колониях» (1803 год), которая определяла не только хозяйственные, но и бытовые нормы [6, с. 1]. Таким образом, в столице сложилась биполярная модель расселения: элита интегрировалась в городское пространство, колонисты сохраняли компактное, но институционально автономное проживание.

В Туле расселение немцев было более однородным и определялось их профессиональной привязкой к оружейному производству.

Немецкие специалисты селились компактно вблизи Тульского оружейного завода, что создавало своеобразную профессионально-бытовую общину. Уже в XVII веке, при голландском купце Андреасе Виниусе, построившем первые железоделательные заводы на реке Тулице, вокруг предприятий формировались слободы, где проживали приглашённые иностранные мастера – преимущественно немцы и голландцы [7]. В отличие от петербургских колонистов, тульские немцы не имели отдельной правовой регламентации быта – их повседневная жизнь регулировалась уставом завода и общими городскими установлениями. Это способствовало более тесному соседству с русским населением: немецкая слобода в Туле была не изолированным анклавом, а органичной частью городской структуры.

Конфессиональная жизнь

В Петербурге лютеранская церковь была мощным институтом сохранения идентичности и одновременно каналом интеграции. Первая лютеранская церковь – Петрикирхе – была основана в 1709 году и стала духовным центром для немцев всех сословий. При церквях действовали школы, благотворительные общества, библиотеки. Немецкие пасторы часто выступали посредниками между диаспорой и властями. Для колонистов под Петербургом также строились кирхи, а жизнь общин курировалась Конторой опекунов иностранных колонистов [6, с. 7-8]. Религиозная инфраструктура создавала для петербургских немцев «мягкую» среду, где сохранение конфессиональной идентичности не противоречило интеграции.

В Туле, напротив, долгое время отсутствовала собственная лютеранская церковь. Немецкие специалисты, работавшие на заводе, вынуждены были либо отправляться для совершения религиозных обрядов в Москву, либо приходить в церковь, которая была в доме аптекаря Генцеля на Киевской улице. Ситуация изменилась лишь в 1860-е годы, когда была основана тульская лютеранская община и построена кирха. Однако и после этого она оставалась немногочисленной и не имела той институциональной мощи, как столичные приходы. Свадьбы, крестины и отпевания долгое время происходили в домашней обстановке или с приглашением приезжих пасторов. Так, Рейнгольд Тейле, прусский подданный и основатель самоварной фабрики, венчался в 1871 году в

евангелическо-лютеранской церкви, однако его брак был скорее исключением, подтверждающим правило: до появления кирхи церковная жизнь тульских немцев была сильно ограничена [7]. Эта ситуация усиливала роль семьи как пространства сохранения идентичности и одновременно способствовала более быстрой аккультурации в бытовых практиках.

Досуг и общественная жизнь

В Петербурге немецкая диаспора обладала разветвлённой сетью досуговых и профессиональных объединений. Немецкие собрания, клубы, масонские ложи, научные общества и театры позволяли сохранять культурную идентичность, одновременно интегрируясь в столичную жизнь. Немецкие ремесленники объединялись в цехи, которые имели свои традиции и праздники. Аптека Пеля на Васильевском острове стала не просто коммерческим предприятием, но центром притяжения для немецкой интеллигенции [10, с. 1]. Мебельщики Гамбсы создали фирму, чья продукция – «гамбсова мебель» – стала символом изыска и вошла в русскую литературу, а именно упоминается у Тургенева, Гончарова, и Мятлева [2, с. 4-5].

В Туле досуговые практики немцев были менее институционализированы. Круг общения ограничивался заводской средой, семейными праздниками и редкими общегородскими мероприятиями. Участие в городском самоуправлении было возможно, но не носило этнически маркированного характера. Немецкие предприниматели, такие как Эмиль Вернекинк, владелец сахарного завода и угольных копей, или Рейнгольд Тейле, фабрикант самоваров, интегрировались в городскую элиту через профессиональные достижения и благотворительность, но не через этнические объединения. Вернекинк получил бронзовую медаль на Всероссийской мануфактурной выставке 1870 года, Тейле был удостоен серебряной медали в 1882 году и звания потомственного почётного гражданина [7]. Однако в отличие от столицы, где существовали немецкие клубы и собрания, в Туле подобных институтов не сложилось.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что «немецкое присутствие» в России не было единообразным феноменом, а сценарии интеграции напрямую зависели от локального контекста. Сопоставление Санкт-Петербурга и

Тулы позволило выявить две принципиально разные модели включения этнического меньшинства в принимающее общество:

- **Столичная модель** («элитарная»): благодаря развитой институциональной среде, включая национальные школы, кирхи, цехи, и многотысячной диаспоре, немцы Петербурга сформировали высокостатусную группу с устойчивой этнокультурной автономией. Интеграция здесь шла через государственную службу, науку и имперское управление.

- **Провинциальная модель** («профессионально-производственная»): в Туле, в условиях малой численности общины и отсутствия национальных институтов, интеграция реализовывалась через узкие, критически важные для региона каналы – оборонную промышленность, медицину и предпринимательство.

Различия в повседневной жизни также были продиктованы средой: если в столице преобладала биполярная модель расселения (от элитных кварталов до замкнутых колоний), то в Туле быт немцев был тесно связан с заводской инфраструктурой. Отсутствие полноценной конфессиональной базы в провинции до середины XIX века и тесные контакты с местным населением вели к ускоренной аккультурации, которая в кризисные периоды, такие как Первая мировая война, трансформировалась в добровольную ассимиляцию.

Таким образом, успешность интеграции определялась способностью немецкого населения предложить государству востребованные ресурсы: административный и научный опыт в столице или уникальные инженерно-промышленные компетенции в провинциальной Туле.

Литература

1. Description ethnographique des peuples de la Russie. Vol.1. – 1862. – 63 л. изобр., 1 складной л. табл., 1 складной л. карт.
2. Ботт И.К. Петербургская мебель эпохи историзма. К вопросу о неостиях

[Электронный ресурс] // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2008. № 76. С. 66-76.

3. Гаврилов С.Л. Остзейские немцы в Санкт-Петербурге. Российская империя между Шлезвигом и Гольштейном, 1710–1918 [Текст] / Сергей Гаврилов. – Москва: Центрполиграф; Санкт-Петербург: Русская тройка-СПб, 2011. – 254, с.: ил., портр.; 24 см. – ISBN 978-5-227-02434-3.

4. Германский след. Немецкая и русская культуры связаны между собой столетиями // АиФ Санкт-Петербург. URL: https://spb.aif.ru/society/germanskiy_sled_nemetskaya_i_russkaya_kultury_svyazany_mezhdu_soboy_stoletiyami (Дата обращения: 22.03.2026).

5. Манифест «О дозволении всем иностранцам, в Россию въезжающим, поселяться в которых губерниях они пожелают и о дарованных им правах» (с приложением реестра... свободным и удобным землям – конв. 9/ 211). – Санкт-Петербург: Печ. при Сенате, 1763. – 4 с.

6. Найдич Л.Э. Быт и образ жизни немецких колонистов под Петербургом // Немцы в России. Люди и судьбы. СПб., 1998.

7. Немцы Тульского края: страницы биографий / Л.В. Бритенкова, Е.В. Васильева, Н.А. Кисвейн [и др.] – Тула, 2007. – 184 с.

8. Первая всеобщая перепись населения Российской империи 1897 г. / под ред. и с предисл. Н.А. Тройницкого. – [Санкт-Петербург]: издание Центрального статистического комитета Министерства внутренних дел, 1899–1905. – 27 с.

9. Шайдуров В.Н. Немецкие ремесленники Санкт-Петербурга: особенности формирования и развития сообщества в XVIII – начале XIX в. // Журнал Белорусского государственного университета. История. – 2023. – № 3. – С. 22-32.

10. Эльяшевич Е.Г., Данченко Е.С. Александр Васильевич Пель – крупнейший учёный-провизор нового времени // Вестник фармации. – 2012. – № 2 (56). – С. 50-55.

SHCHETININ Daniil Gennadievich

Student, Tolstoy Tula State Pedagogical University, Russia, Tula

GERMANS IN THE CAPITAL AND PROVINCES OF THE RUSSIAN EMPIRE: SOCIAL INTEGRATION AND DAILY LIFE (18th – EARLY 20th CENTURIES)

Abstract. *This article provides a comparative analysis of social integration and everyday life among the German ethnic group in the Russian Empire from the 18th to the early 20th centuries, using two locations—the capital city of St. Petersburg and the provincial city of Tula—as examples. The study demonstrates that in St. Petersburg, thanks to its large diaspora and a well-developed institutional environment, an elite model of integration emerged, based on civil service, science, and a career at court, while maintaining ethnocultural autonomy. In Tula, by contrast, given the small size of the community and the absence of a developed national infrastructure, a professional-industrial model dominated: integration occurred through narrow but critically important channels—the defense industry, entrepreneurship, and medicine. A comparison of everyday practices reveals a bipolar settlement structure in the capital and a compact factory environment in the provinces, where close contacts with the Russian population and the absence of a local church until the mid-19th century accelerated acculturation.*

Keywords: *Germans in Russia, social integration, everyday life, St. Petersburg, Tula, Russian Empire, 18th–19th centuries, ethnic identity, Lutheranism, professional migration, arms production, entrepreneurship.*

ФИЛОСОФИЯ

ЧАЙКОВСКИЙ Аркадий Иванович

учитель, Шлиссельбургская средняя школа № 1, Россия, г. Шлиссельбург

VTN-15. ТЕМПОРАЛЬНАЯ СВОБОДА

Аннотация. В работе вводится и формализуется понятие темпоральной свободы как структурного свойства уровней реальности с темпоральной метрикой. Показано, что темпоральная свобода не является вероятностной неопределённостью и не сводится к неполноте информации. Она возникает как следствие существования множества структурно допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$, формируемого темпоральной метрикой, асинхронностью локальных ритмов и кластерно-перколяционным характером причинности.

Показано, что множество будущих состояний обладает сетевой, динамически изменяющейся архитектурой и не может быть сведено к конечному набору дискретных сценариев. Темпоральная свобода определяется не числом возможных траекторий, а структурной организацией пространства будущих состояний.

Установлено, что темпоральная свобода является необходимым условием эволюции уровней T , обеспечивая множественность допустимых путей перехода, возможность разрушения симметрий и устойчивость формирования новых структур. Показано, что свобода проявляется как следствие структурной причинности и не противоречит направленности темпоральной динамики.

Обсуждаются космологические следствия темпоральной свободы, включая неоднозначность ранних переходов, структурную неоднородность и отсутствие единственной траектории космологической эволюции. Анализируются ограничения концепции, связанные с наблюдаемостью и формальной реконструкцией множества будущих.

Работа завершает формирование триады в рамках серии VTN: темпоральная метрика \rightarrow структурная причинность \rightarrow пространство допустимых будущих состояний, вводя темпоральную свободу как характеристику архитектуры этого пространства.

Ключевые слова: время, темпоральная метрика, темпоральная свобода, множество будущих, структурная причинность, асинхронность, пороговые переходы, перколяция, симметрия, эволюция уровней T , структура реальности.

1. Введение

Понимание природы будущего является одним из центральных вопросов как физики времени, так и философии науки. В классических моделях будущие состояния системы рассматриваются либо как детерминированные продолжения её текущего состояния, либо как вероятностные сценарии, возникающие вследствие неполноты информации или квантовой неопределённости. Однако ни детерминизм, ни вероятностные подходы не описывают структурную многозначность будущего, возникающую в сложных системах и проявляющуюся на различных уровнях реальности.

В серии работ VTN были сделаны два принципиальных шага к построению более общего

описания временной эволюции. В работе VTN-13 была введена темпоральная метрика $\Delta T_{\text{critical}}$, определяющая структуру переходов между состояниями T_{before} и T_{after} . В работе VTN-14 было показано, что причинность в таких системах имеет кластерно-перколяционный характер: глобальные переходы формируются в результате асинхронного достижения локальных порогов и не допускают единственной траектории развития.

Эти результаты приводят к следующему фундаментальному следствию: для любого уровня реальности T , обладающего темпоральной метрикой и структурной причинностью, возникает множество структурно допустимых будущих состояний, обозначаемое как $\mathcal{P}(T)$.

Это множество не является набором заранее заданных сценариев и не может быть описано вероятностным распределением. Оно формируется как результат асинхронности локальных ритмов, распределённости порогов $\Delta T_{critical}(local)$ и кластерной природы глобальных переходов.

Настоящая работа посвящена формализации темпоральной свободы как свойства этого множества будущих состояний. В отличие от традиционных интерпретаций, темпоральная свобода рассматривается не как самостоятельный фундаментальный принцип и не как следствие недостатка знаний, а как структурная характеристика пространства допустимых переходов. Свобода уровня T определяется тем, что множество $\mathcal{P}(T)$ содержит более одного структурно согласованного направления эволюции и обладает внутренней архитектурой, допускающей различные формы реализации перехода $T_{before} \rightarrow T_{after}$.

Таким образом, многозначность будущего является не эпистемологическим ограничением, а необходимым следствием темпоральной метрики и механизмов структурной причинности. Темпоральная свобода выступает как проявление этой многозначности и как условие, при котором эволюция уровня возможна.

Важно подчеркнуть, что темпоральная свобода не противоречит причинности и не отменяет направленности времени. Напротив, причинность задаёт допустимые формы переходов, тогда как свобода отражает множественность их структурно допустимых реализаций.

Статья продолжает логическую линию серии VTN и формирует третий элемент базовой структуры: темпоральная метрика \rightarrow структурная причинность \rightarrow пространство допустимых будущих состояний. Данная структура служит исходной основой для последующего анализа архитектуры и роста темпоральной сложности.

На этой основе формируется целостное представление об эволюции уровней реальности, в котором будущее описывается не как единственная линия и не как вероятностное распределение, а как структурно организованное пространство возможных переходов.

2. Принцип темпоральной свободы

Темпоральная свобода является структурным свойством любой области реальности T , обладающей темпоральной метрикой и структурной причинностью. Она не вводится как самостоятельный фундаментальный принцип, а

возникает как следствие существования множества структурно допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$, формируемого архитектурой уровня.

Свобода уровней не является вероятностной характеристикой, не сводится к квантовой неопределённости и не является синонимом случайности. Она отражает объективное свойство пространства допустимых переходов: наличие более чем одного структурно согласованного направления эволюции при сохранении строгих ограничений, накладываемых темпоральной метрикой и механизмами причинности.

Таким образом, темпоральная свобода определяется не произвольностью будущего, а его структурной многозначностью.

2.1. Формулировка принципа

Темпоральная свобода – это структурное свойство множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$, заключающееся в том, что область T допускает более одного структурно согласованного пути перехода $T_{before} \rightarrow T_{after}$.

Иными словами: будущее области T не задано заранее, но ограничено архитектурой уровня; не предопределено, но структурно обусловлено.

Темпоральная свобода описывает не выбор субъекта и не эпистемологическую неопределённость, а внутреннюю многозначность темпоральной структуры, возникающую из организации множества $\mathcal{P}(T)$.

2.2. Источники темпоральной свободы

Темпоральная свобода возникает как следствие формирования множества $\mathcal{P}(T)$, которое определяется совокупностью независимых механизмов:

1. Асинхронность локальных времён. Каждый элемент области T существует в собственном темпоральном ритме и достигает порога $\Delta T_{critical}(local)$ независимо от остальных. Это исключает возможность глобальной синхронизации и приводит к множественности допустимых комбинаций переходов.

2. Двойственная неопределённость. Микроскопическая (квантовая) и макроскопическая (структурно-темпоральная) неопределённость не сводятся друг к другу и формируют несводимое пространство возможных переходов. Они не создают свободу напрямую, но увеличивают размерность множества $\mathcal{P}(T)$.

3. Порогово-кластерная причинность. Локальные переходы могут объединяться в различные кластерные конфигурации, приводя к

различным формам разрушения симметрии G и различным структурам состояния T_{after} .

Эти механизмы совместно формируют множество $\mathcal{P}(T)$, а темпоральная свобода возникает как его структурное свойство.

2.3. Темпоральная свобода как свойство множества будущих

Темпоральная свобода не является первичным свойством темпоральной метрики, а определяется структурой множества допустимых будущих состояний.

Она не является:

- характеристикой сложности как количественной меры,
- следствием хаоса или флуктуаций,
- статистической неопределённостью,
- субъективной интерпретацией наблюдателя.

Темпоральная метрика, структурная причинность и распределение локальных ритмов формируют множество $\mathcal{P}(T)$, обладающее следующими свойствами:

- отсутствует единый глобальный темп эволюции;
- отсутствует единственная траектория будущего;
- существуют различные формы разрушения симметрии;
- переход $T \rightarrow T_{\text{after}}$ может реализовываться различными способами.

Темпоральная свобода есть отражение этих свойств на уровне структуры будущего.

2.4. Свобода не отменяет законов – она возникает внутри них

Темпоральная свобода не является произвольностью и не нарушает законов.

Она:

- не отменяет темпоральную метрику,
- не нарушает симметрию G ,
- не противоречит пороговым механизмам,
- не устраняет причинные ограничения.

Напротив: темпоральная метрика задаёт направленность перехода, структурная причинность задаёт допустимые механизмы, а множество $\mathcal{P}(T)$ задаёт пространство реализаций этих механизмов.

Свобода возникает как следствие этой структуры, а не как её альтернатива.

2.5. Минимальная формализация

Обозначим:

- $\mathcal{P}(T)$ – множество структурно допустимых будущих состояний,
- $\mathcal{M}(T)$ – темпоральную метрику уровня,

- $\mathcal{C}(T)$ – механизмы структурной причинности,

- $\mathcal{R}(T)$ – распределение локальных темпоральных ритмов.

Тогда: $\mathcal{P}(T) = F(\mathcal{M}(T), \mathcal{C}(T), \mathcal{R}(T))$.

При этом выполняется условие: $|\mathcal{P}(T)| \geq 2$ для любого уровня T , допускающего эволюцию.

Это означает, что темпоральная свобода возникает тогда и только тогда, когда множество $\mathcal{P}(T)$ содержит более одного структурно допустимого пути развития.

Важно подчеркнуть: темпоральная свобода определяется не только мощностью множества $|\mathcal{P}(T)|$, но и его структурой, включая связность, кластеризацию и архитектуру допустимых переходов.

2.6. Связь с VTN-13 и VTN-14

- VTN-13 устанавливает темпоральную метрику и структуру пороговых переходов.
- VTN-14 вводит кластерную природу причинности и асинхронность переходов.
- В настоящей работе показано, что эти два механизма неизбежно приводят к формированию множества $\mathcal{P}(T)$, обладающего внутренней структурной многозначностью.

Таким образом, темпоральная свобода не вводится как дополнительный принцип, а возникает как необходимое следствие уже заданной архитектуры уровня.

2.7. Место темпоральной свободы в общей структуре

Темпоральная свобода является характеристикой пространства допустимых будущих состояний и занимает третий уровень в базовой структуре теории: темпоральная метрика \rightarrow структурная причинность \rightarrow множество допустимых будущих состояний.

Данная структура служит исходной основой для дальнейшего анализа архитектуры и роста темпоральной сложности.

3. Источники формирования множества допустимых будущих состояний

Темпоральная свобода уровня T не возникает как самостоятельный эффект, а является следствием существования множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$. Соответственно, её источники следует рассматривать как механизмы формирования и структурирования этого множества.

Множество $\mathcal{P}(T)$ возникает не из одного фактора, а из совокупности структурных свойств темпоральной метрики и механизмов причинности. Эти механизмы взаимно независимы, но усиливают друг друга, формируя

внутреннюю архитектуру пространства будущих состояний.

Рассмотрим основные элементы, определяющие структуру множества $\mathcal{P}(T)$.

3.1. Асинхронность локальных темпоральных ритмов

Каждый локальный элемент области T существует в собственном темпоральном режиме и достигает порога $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$ независимо от других элементов. Такое распределение локальных темпов перехода приводит к следующим следствиям:

- невозможности установления единого темпа эволюции уровня;
- невозможности синхронного достижения критических режимов;
- невозможности формирования единственной согласованной траектории будущего.

Асинхронность является фундаментальным механизмом, порождающим множественность допустимых комбинаций локальных переходов и, следовательно, формирующим многозначную структуру множества $\mathcal{P}(T)$.

3.2. Локальная независимость порогов

Порог $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$ определяется свойствами конкретного элемента и его локальной конфигурацией. Эти пороги:

- не унифицируются на уровне всей системы;
- не наследуются глобальной структурой;
- не поддаются внешнему выравниванию без разрушения области T .

Каждый локальный порог выступает как автономный центр возможного перехода. Это приводит к возникновению дискретных точек расхождения траекторий внутри множества $\mathcal{P}(T)$, формируя его внутреннюю разветвлённость.

3.3. Кластеризация локальных переходов

Глобальный переход уровня T не является простой суммой независимых локальных событий. Локальные переходы способны образовывать кластеры – группы элементов, достигающих порогов согласованно.

Кластеризация приводит к следующим эффектам:

- при одинаковом распределении локальных ритмов могут формироваться различные конфигурации кластеров;
- различные кластеры могут реализовывать различные формы разрушения симметрии G ;
- конфигурации кластеров определяют структурные свойства состояния T_{after} .

Таким образом, кластеризация выступает как механизм, преобразующий локальную вариативность в глобальную структурную многозначность множества $\mathcal{P}(T)$.

3.4. Перколяционная природа глобальных переходов

Глобальный переход $T \rightarrow T_{\text{after}}$ реализуется при достижении системой перколяционного порога, то есть уровня связности локальных переходов, достаточного для разрушения симметрии.

Этот порог может быть достигнут различными способами:

- через один доминирующий кластер;
- через несколько независимых кластеров;
- через последовательное наращивание связности;
- через редкие, но допустимые конфигурации минимальной связности.

Наличие множества путей к достижению перколяционного порога формирует структурную неоднозначность глобальных переходов и расширяет архитектуру множества $\mathcal{P}(T)$.

3.5. Незамкнутость множества будущих состояний

Темпоральная метрика и механизмы причинности определяют множество $\mathcal{P}(T)$ допустимых будущих состояний. Однако это множество обладает принципиально незамкнутым характером:

- оно не фиксировано заранее;
- не может быть сведено к конечному набору дискретных сценариев;
- изменяется при изменении локальных ритмов и конфигураций;
- допускает появление новых траекторий при изменении структуры переходов.

Таким образом, $\mathcal{P}(T)$ представляет собой открытую и динамическую структуру, а не статическое множество вариантов.

3.6. Двойственная неопределённость как фактор расширения множества $\mathcal{P}(T)$

Хотя темпоральная свобода не сводится к неопределённости, двойственная неопределённость играет важную роль в расширении множества допустимых переходов:

- квантовая неопределённость создаёт вариативность на микроуровне;
- темпорально-структурная неопределённость формирует многозначность на уровне системы.

Эти два уровня не сводятся друг к другу, но совместно увеличивают размер и усложняют структуру множества $\mathcal{P}(T)$.

3.7. Отсутствие механизмов глобального выравнивания

Внутри области T отсутствует возможность:

- принудительного выравнивания локальных ритмов;
- глобальной синхронизации порогов;
- устранения вариативности переходов без разрушения структуры уровня.

Это означает, что сформированное множество $\mathcal{P}(T)$ не может быть сведено к единственной траектории без потери самой темпоральной структуры.

Именно это свойство делает многозначность будущего не временной флуктуацией, а устойчивой характеристикой уровня.

4. Темпоральная свобода и структурная причинность

Темпоральная свобода не противоположна причинности и не существует независимо от неё. Она возникает как следствие механизмов структурной причинности, сформулированных в VTN-14, через формирование множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$.

Если структурная причинность определяет архитектуру темпорального перехода, то множество $\mathcal{P}(T)$, формируемое этой архитектурой, задаёт пространство допустимых реализаций. Темпоральная свобода представляет собой свойство этого пространства.

Таким образом, связь имеет вид: структурная причинность \rightarrow множество $\mathcal{P}(T) \rightarrow$ темпоральная свобода.

4.1. Свобода в рамках причинных ограничений

Переход уровня T не является произвольным: он реализуется через систему локальных порогов, кластерных конфигураций и перколяционных условий. Структурная причинность определяет:

- допустимые источники перехода;
- элементы, способные инициировать переход;
- структурно допустимые пути развития;
- формы возможных состояний T_{after} .

Эти ограничения формируют множество $\mathcal{P}(T)$. Темпоральная свобода не нарушает этих ограничений, а возникает как следствие того, что множество $\mathcal{P}(T)$ содержит более одного допустимого пути.

Иными словами: причинность задаёт допустимую архитектуру будущего, а свобода

отражает множественность реализаций внутри этой архитектуры.

4.2. Многозначность причинности

В классической модели причинность описывается как единственная цепочка $A \rightarrow B \rightarrow C$. В системах с темпоральной метрикой это предположение неприменимо, поскольку локальные переходы $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$:

- происходят асинхронно;
- могут инициироваться в различных точках;
- объединяются в различные кластерные конфигурации;
- достигают глобальных порогов различными маршрутами.

В результате формируется множество причинных траекторий, каждая из которых приводит к допустимому состоянию T_{after} . Эти траектории образуют структуру множества $\mathcal{P}(T)$.

Таким образом, причинность становится многозначной: будущее определяется не единственной цепью событий, а структурой допустимых причинных путей.

4.3. Кластерная причинность как механизм формирования $\mathcal{P}(T)$

В VTN-14 показано, что глобальный переход происходит при достижении перколяционного уровня связности локальных событий. Однако конфигурации этой связности не единственны:

- различные кластеры могут инициировать переход;
- кластеры могут иметь различную структуру и размер;
- одинаковые локальные пороги могут образовывать различные сети связности.

Каждая такая конфигурация определяет отдельную траекторию в пространстве $\mathcal{P}(T)$:

- она структурно допустима;
- полностью причинна;
- приводит к определённой форме разрушения симметрии G ;
- определяет соответствующее состояние T_{after} .

Таким образом, кластерная причинность является механизмом, порождающим внутреннюю структуру множества $\mathcal{P}(T)$.

4.4. Свобода и хаос

Темпоральная свобода принципиально отличается от хаоса.

Хаос характеризуется чувствительностью к малым изменениям начальных условий и исчезает при их точном задании в идеализированной модели.

Темпоральная свобода определяется существованием множества $\mathcal{P}(T)$, которое:

- формируется структурными свойствами системы;
- не исчезает при уточнении начальных условий;
- сохраняется как свойство уровня T .

Таким образом, свобода не связана с недостатком знания, а обусловлена самой архитектурой причинности.

4.5. Направленность причинности

Несмотря на многозначность путей, причинность сохраняет направленность перехода: $T_{\text{before}} \rightarrow T_{\text{after}}$.

Это обеспечивается следующими свойствами:

- локальные пороги $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$ задают границы устойчивости;
- пересечение порога является необратимым событием;
- разрушение симметрии G носит необратимый характер;
- асинхронность не устраняет направленность, а лишь устраняет единственность траектории.

Следовательно, причинность задаёт направленность перехода, а множество $\mathcal{P}(T)$ задаёт его возможные реализации.

4.6. Невозможность глобальной синхронизации

Внутри уровня T отсутствует механизм, способный:

- выровнять локальные ритмы;
- синхронизировать пороговые переходы;
- реализовать единую глобальную траекторию.

Это означает, что множество $\mathcal{P}(T)$ не может быть сведено к единственному пути без разрушения самой темпоральной структуры.

Именно невозможность глобальной синхронизации делает многозначность будущего устойчивым свойством, а не частным случаем.

4.7. Свобода как следствие структурной причинности

Темпоральная свобода возникает как интегральное свойство множества $\mathcal{P}(T)$, сформированного структурной причинностью. Она не связана с отдельными элементами системы и не определяется локальными механизмами по отдельности.

Свобода является результатом совместного действия:

- асинхронности локальных переходов;
- дискретности порогов;
- кластеризации;
- перколяции;
- симметрий уровня;
- невозможности глобального выравнивания.

Темпоральная свобода не добавляется к причинности как внешний элемент. Она возникает как её структурное следствие и отражает внутреннюю организацию множества допустимых будущих состояний.

5. Архитектура множества допустимых будущих состояний

Темпоральная свобода уровня T проявляется через структуру множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$. Это множество является самостоятельным объектом теории и не сводится к набору альтернативных сценариев или вероятностных исходов.

Множество $\mathcal{P}(T)$ возникает как результат действия темпоральной метрики $M(T)$, распределения локальных ритмов $R(T)$ и механизмов структурной причинности $\mathcal{C}(T)$. Оно представляет собой структурно организованное пространство допустимых переходов, обладающее собственной архитектурой.

Темпоральная свобода в этом контексте является не самостоятельной сущностью, а характеристикой структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

5.1. Множество $\mathcal{P}(T)$ не является дискретным набором сценариев

В классических моделях будущие состояния часто представляются как:

- набор дискретных альтернатив;
- вероятностное распределение исходов;
- конечное множество сценариев.

Такие представления неприменимы к множеству $\mathcal{P}(T)$, поскольку:

- достижение локальных порогов $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$ может происходить постепенно, тогда как сам порог является дискретной границей между классами состояний;
- кластерные структуры формируются динамически, а не задаются заранее;
- структура будущего определяется множеством независимых локальных ритмов;
- мощность множества $|\mathcal{P}(T)|$ не является фиксированной величиной.

Следовательно, $\mathcal{P}(T)$ представляет собой не список вариантов, а структурную конфигурацию взаимосвязанных траекторий.

5.2. Сетевая архитектура множества будущих

Множество $\mathcal{P}(T)$ не имеет древовидной структуры. Представление будущего в виде дерева (ветвлений без слияний) неприменимо, поскольку:

- локальные пороги достигаются в произвольном порядке;
- кластерные конфигурации не уникальны;
- различные траектории могут приводить к структурно эквивалентным состояниям;
- допустимы слияния траекторий.

Таким образом, $\mathcal{P}(T)$ обладает сетевой архитектурой, включающей:

- разветвления;
- слияния;
- параллельные траектории;
- обходные пути;
- области высокой связности («коридоры»);
- области структурной эквивалентности («плато»).

Сетевая структура является прямым следствием кластерной причинности и перколяционной природы глобальных переходов.

5.3. Региональная структура множества $\mathcal{P}(T)$

Множество $\mathcal{P}(T)$ организовано не как совокупность отдельных траекторий, а как совокупность структурных регионов.

Регион определяется как подмножество траекторий, обладающих эквивалентными структурными характеристиками:

- тип разрушения симметрии $G \rightarrow G'$;
- конфигурация кластеров;
- характер ранней асимметрии;
- свойства состояния T_{after} .

Такие регионы можно рассматривать как классы структурной эквивалентности.

Следовательно, множество $\mathcal{P}(T)$ обладает внутренней организацией, а его структура не сводится к произвольному набору вариантов.

5.4. Невероятностная природа множества $\mathcal{P}(T)$

Множество $\mathcal{P}(T)$ не может быть описано в терминах вероятности:

- отсутствуют повторяющиеся ансамбли состояний;
- эволюция уровня T является уникальным процессом;

- пространство допустимых переходов не является замкнутым;
- структура $\mathcal{P}(T)$ определяется геометрией, а не частотами.

Таким образом, множество $\mathcal{P}(T)$ имеет не статистическую, а структурно-геометрическую природу.

5.5. Геометрия множества будущих

Темпоральная метрика $M(T)$ определяет геометрию множества $\mathcal{P}(T)$:

- задаёт топологию допустимых переходов;
- определяет «расстояния» между траекториями;
- определяет связность между регионами;
- задаёт допустимость переходов между различными траекториями.

Таким образом, геометрия множества будущих является прямым продолжением темпоральной метрики.

Множество $\mathcal{P}(T)$ не является внешней конструкцией, а встроено в структуру уровня T .

5.6. Динамичность множества $\mathcal{P}(T)$

Множество $\mathcal{P}(T)$ не является фиксированным объектом.

Оно:

- изменяется при каждом локальном переходе;
- перестраивается при изменении кластерной конфигурации;
- модифицируется при достижении новых порогов $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$.

Следовательно, $\mathcal{P}(T)$ представляет собой динамическую структуру, эволюционирующую вместе с уровнем T .

5.7. Открытость множества $\mathcal{P}(T)$

Множество $\mathcal{P}(T)$ обладает свойством открытости:

- не существует конечного списка допустимых траекторий;
- отсутствует фиксированная граница пространства будущих;
- допускается появление новых траекторий при изменении структуры переходов;
- отсутствует завершённость архитектуры.

Открытость является фундаментальным свойством множества $\mathcal{P}(T)$ и не зависит от наблюдателя.

5.8. Минимальная структурная размерность

Из условия, сформулированного ранее:

$|\mathcal{P}(T)| \geq 2$ следует, что любое эволюционирующее состояние T обладает как минимум двумя структурно допустимыми путями развития.

Это условие задаёт минимальную структурную размерность множества $\mathcal{P}(T)$ и является необходимым условием существования темпоральной свободы.

Важно подчеркнуть: структурные свойства множества $\mathcal{P}(T)$ определяются не только его мощностью, но и его архитектурой – связностью, региональной организацией и геометрией переходов.

6. Условия существования и подавления темпоральной свободы

Темпоральная свобода не является универсальным свойством всех уровней реальности. Она возникает только тогда, когда множество допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$ обладает нетривиальной структурой, и исчезает в случаях, когда это множество вырождается.

Соответственно, условия существования темпоральной свободы эквивалентны условиям существования структурно нетривиального множества $\mathcal{P}(T)$.

6.1. Необходимые условия существования множества $\mathcal{P}(T)$

Темпоральная свобода уровня T возникает тогда и только тогда, когда множество $\mathcal{P}(T)$ содержит более одного структурно допустимого пути и обладает внутренней архитектурой.

Это требует выполнения следующих условий.

6.1.1. Асинхронность локальных ритмов

Если все элементы уровня эволюционируют с одинаковым темпом, множество $\mathcal{P}(T)$ вырождается в единственную траекторию.

Асинхронность является необходимым условием появления множества альтернативных переходов.

6.1.2. Распределение локальных порогов

Пороги $\Delta T_{critical}(local)$ должны различаться для разных элементов.

Если все пороги совпадают, переход становится синхронным, а множество $\mathcal{P}(T)$ сжимается до одного пути.

6.1.3. Отсутствие глобального механизма выравнивания

Если существует механизм, выравнивающий локальные ритмы и пороги, то: $\mathcal{P}(T) \rightarrow \{\text{единственная траектория}\}$.

Следовательно, свобода исчезает.

6.1.4. Возможность кластеризации

Если локальные события не способны образовывать различные кластерные конфигурации, структура $\mathcal{P}(T)$ становится тривиальной.

Кластеризация является необходимым условием формирования сетевой архитектуры множества будущих.

6.1.5. Нелинейность системы

Линейные системы обладают либо единственной траекторией, либо регулярными режимами.

Нелинейность необходима для формирования нетривиальной структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

6.2. Условия вырождения множества $\mathcal{P}(T)$

Темпоральная свобода исчезает, когда множество $\mathcal{P}(T)$ теряет структурную многозначность и вырождается в единственную траекторию.

Это происходит при выполнении одного из следующих условий.

6.2.1. Полная синхронизация

Все элементы достигают порогов одновременно: $\mathcal{P}(T) \rightarrow \{\text{одна траектория}\}$.

6.2.2. Сверхжесткая симметрия

Если симметрия G допускает только один способ её разрушения, структура будущего становится однозначной.

6.2.3. Идеальная однородность

При полной однородности локальных параметров:

- отсутствуют точки расхождения траекторий;
- невозможна кластеризация;
- множество $\mathcal{P}(T)$ вырождается.

6.2.4. Отсутствие пороговой структуры

Если $\Delta T_{critical}(local)$ не различается или отсутствует, эволюция становится гладкой и предсказуемой.

В этом случае отсутствуют дискретные точки ветвления, и $\mathcal{P}(T)$ не формируется.

6.2.5. Глобальная синхронизация как предельный случай

Если темпоральная метрика допускает глобальную синхронизацию:

- локальные ритмы выравниваются;
- пороги достигаются одновременно;
- структура будущего становится одномерной.

В этом случае темпоральная свобода исчезает как свойство.

6.3. Неустрашимость свободы в эволюционирующих системах

Для уровней, допускающих эволюцию, выполнение условий вырождения $\mathcal{P}(T)$ является структурно невозможным, поскольку это противоречит:

- асинхронности локальных ритмов;
- кластерной природе переходов;
- необходимости множественности путей разрушения симметрии;
- наблюдаемой способности уровней T к развитию.

Следовательно, для всех эволюционирующих уровней множество $\mathcal{P}(T)$ неизбежно остаётся нетривиальным, а темпоральная свобода – ненулевой.

6.4. Свобода как функция структуры множества $\mathcal{P}(T)$

Темпоральная свобода не является бинарным свойством (есть/нет), а определяется структурой множества $\mathcal{P}(T)$. Она зависит от:

- мощности $|\mathcal{P}(T)|$;
- степени связности;
- наличия кластерных конфигураций;
- глубины региональной структуры;
- динамики перестройки множества.

Таким образом, свобода является функцией архитектуры множества будущих, а не просто числа альтернатив.

6.5. Связь со структурной сложностью

Структура множества $\mathcal{P}(T)$ может быть охарактеризована через величину, отражающую его архитектурную сложность:

- при простой структуре $\mathcal{P}(T)$ свобода минимальна;
- при развитой сетевой архитектуре свобода возрастает;
- при высокой региональной организации свобода становится многомерной.

Это позволяет ввести характеристику уровня: $S(T) \sim \text{структура}(\mathcal{P}(T))$, где $S(T)$ отражает не число возможных траекторий, а организацию множества $\mathcal{P}(T)$: его связность, иерархию и внутреннюю геометрию.

В этом смысле: темпоральная свобода определяется через существование $\mathcal{P}(T)$, а темпоральная сложность – через его структуру.

6.6. Динамичность свободы

Поскольку множество $\mathcal{P}(T)$ является динамическим объектом, темпоральная свобода также является динамической величиной.

Она может:

- возрастать при усложнении структуры $\mathcal{P}(T)$;

- уменьшаться при усилении симметрии;
- локально исчезать при выравнивании параметров;
- восстанавливаться при нарушении однородности.

6.7. Границы темпоральной свободы

Минимальное условие: $|\mathcal{P}(T)| \geq 2$ задаёт нижнюю границу существования свободы.

Максимальное значение не определяется только мощностью множества, поскольку рост свободы ограничен структурой симметрий G и архитектурой допустимых переходов.

6.8. Структурный критерий существования темпоральной свободы

Темпоральная свобода:

- не является универсальной константой;
- возникает только при наличии нетривиального множества $\mathcal{P}(T)$;
- определяется его структурой;
- может усиливаться или подавляться;
- является следствием архитектуры уровня T .

7. Темпоральная свобода как условие эволюции уровней T

Эволюция уровня T , определяемая как переход $T \rightarrow T_{\text{after}}$, возможна только при наличии нетривиального множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$.

Если множество $\mathcal{P}(T)$ вырождается в единственную траекторию, переход становится либо строго фиксированным, либо невозможным. В этом случае уровень теряет способность к изменению и фиксируется в состоянии устойчивой симметрии.

Следовательно, темпоральная свобода, понимаемая как свойство множества $\mathcal{P}(T)$, является не следствием эволюции, а её необходимым условием.

7.1. Множество $\mathcal{P}(T)$ как пространство возможных переходов

Если множество $\mathcal{P}(T)$ содержит более одного допустимого пути ($|\mathcal{P}(T)| \geq 2$), это означает:

- существует множество способов разрушения симметрии G ;
- локальные переходы могут объединяться в различные кластерные конфигурации;
- перколяционный порог может достигаться различными маршрутами.

Если же $|\mathcal{P}(T)| = 1$:

- переход становится жёстко фиксированным;
- любое отклонение делает его недостижимым;

- система не способна реализовать переход.

Таким образом, наличие множества $\mathcal{P}(T)$ формирует пространство допустимых переходов, внутри которого эволюция становится возможной.

7.2. Структура $\mathcal{P}(T)$ и разрушение симметрии

Переход уровня T невозможен без разрушения симметрии G . Разрушение симметрии требует:

- достижения достаточной связности кластеров;
- наличия альтернативных конфигураций перехода.

Если структура $\mathcal{P}(T)$ допускает только один путь разрушения симметрии, система становится неустойчивой к отклонениям и переход блокируется.

Если же $\mathcal{P}(T)$ содержит множество структурно допустимых путей:

- разрушение симметрии становится устойчивым;
- процесс не зависит от точного совпадения условий;
- переход $T \rightarrow T_{\text{after}}$ становится реализуемым.

Следовательно, устойчивое разрушение симметрии возможно только при нетривиальной структуре множества $\mathcal{P}(T)$.

7.3. Вырождение $\mathcal{P}(T)$ и остановка эволюции

Если множество $\mathcal{P}(T)$ вырождается:

- исчезают альтернативные пути перехода;
- кластеризация становится невозможной;
- локальные ритмы синхронизируются;
- система фиксируется в состоянии симметрии G .

В этом режиме: эволюция прекращается, поскольку отсутствует пространство допустимых переходов.

Таким образом, нетривиальность множества $\mathcal{P}(T)$ является необходимым условием продолжения эволюции.

7.4. Адаптивность как следствие структуры $\mathcal{P}(T)$

Если множество $\mathcal{P}(T)$ содержит множество траекторий:

- локальные отклонения могут приводить к альтернативным переходам;

- различные кластерные конфигурации становятся допустимыми;

- уровень способен реагировать на изменения условий;

- возможны различные формы состояния T_{after} .

Следовательно, адаптивность системы является следствием структуры множества $\mathcal{P}(T)$, а не внешним свойством.

7.5. Устойчивость эволюции

Наличие множества траекторий в $\mathcal{P}(T)$ повышает устойчивость перехода:

- отказ одной траектории не блокирует переход;
- разрушение симметрии может происходить альтернативными путями;
- локальные возмущения не приводят к остановке эволюции.

Таким образом, устойчивость эволюции определяется не жёсткостью траектории, а избыточностью структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

7.6. Направленность и реализуемость перехода

Направленность перехода $T_{\text{before}} \rightarrow T_{\text{after}}$ задаётся темпоральной метрикой и необратимостью порогов $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$.

Однако направленность сама по себе не гарантирует осуществимость перехода.

Если множество $\mathcal{P}(T)$ тривиально:

- система может оставаться в предкритическом состоянии;
- глобальный порог не достигается;
- переход не реализуется.

Следовательно, темпоральная метрика задаёт направление, а структура множества $\mathcal{P}(T)$ обеспечивает возможность реализации перехода.

7.7. Появление новых уровней

Каждый уровень реальности возникает как состояние T_{after} предыдущего уровня.

Если множество $\mathcal{P}(T)$ тривиально:

- переход невозможен;
- новые уровни не возникают;
- эволюция прекращается.

Следовательно, появление новых уровней возможно только при наличии нетривиального множества $\mathcal{P}(T)$.

Темпоральная свобода в этом смысле является условием возникновения сложности, а не её следствием.

7.8. Связь с темпоральной сложностью

Структура множества $\mathcal{P}(T)$, определяющая возможность и характер эволюции, может быть охарактеризована величиной $C(T)$.

В этом контексте:

- существование $\mathcal{P}(T)$ обеспечивает возможность эволюции;
- структура $\mathcal{P}(T)$ определяет её форму и устойчивость;
- рост $C(T)$ соответствует усложнению архитектуры множества будущих.

Следовательно, эволюция уровня T может рассматриваться как процесс перестройки и усложнения структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

7.9. Темпоральная свобода как необходимое условие эволюции

Темпоральная свобода:

- определяется существованием множества $\mathcal{P}(T)$;
- обеспечивает наличие пространства допустимых переходов;
- делает возможным разрушение симметрии;
- предотвращает вырождение динамики;
- обеспечивает адаптивность и устойчивость;
- делает реализуемым переход $T \rightarrow T_{\text{after}}$;
- является необходимым условием появления новых уровней.

Таким образом, без нетривиального множества $\mathcal{P}(T)$ эволюция уровней реальности невозможна.

8. Космологические импликации структуры множества будущих

Темпоральная свобода, возникающая как свойство множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$, в космологическом контексте проявляется как глобальная характеристика эволюции Вселенной.

Если рассматривать Вселенную как темпоральную область T с развитой метрикой $\mathcal{M}(T)$, распределением локальных ритмов и кластерной причинностью, то множество $\mathcal{P}(T)$ приобретает космологический масштаб. В этом случае наблюдаемая структура и динамика Вселенной могут интерпретироваться как проявления архитектуры множества допустимых переходов и её эволюции.

8.1. Многозначность ранних переходов

В ранних фазах Вселенной наблюдаются:

- высокая симметрия G_{initial} ;
- высокая плотность энергии;
- высокая связность элементов;

- неизбежная асинхронность локальных ритмов.

В этих условиях множество $\mathcal{P}(T_{\text{initial}})$ не могло быть тривиальным. Разрушение симметрии происходило через множество структурно допустимых переходов: $T_{\text{initial}} \rightarrow T_{\text{after}}^{(1)}, T_{\text{after}}^{(2)}, \dots, T_{\text{after}}^{(k)}$

Эти переходы не являются случайными реализациями, а принадлежат множеству $\mathcal{P}(T_{\text{initial}})$, сформированному структурой темпоральной метрики и причинности.

Следовательно, многозначность космологических сценариев имеет структурную природу и определяется архитектурой $\mathcal{P}(T)$.

8.2. Ранняя асимметрия как следствие структуры $\mathcal{P}(T)$

Различные траектории в множестве $\mathcal{P}(T_{\text{initial}})$ приводят к различным формам ранней асимметрии:

- неоднородностям плотности;
- вариациям кривизны;
- различным топологическим конфигурациям;
- различиям в локальных фазовых переходах.

Таким образом, наблюдаемая асимметрия является следствием того, что множество $\mathcal{P}(T_{\text{initial}})$ содержит множество структурно допустимых регионов.

Следовательно, неоднородность ранней Вселенной возникает как проявление структуры множества $\mathcal{P}(T)$, а не как результат случайных флуктуаций.

8.3. Формирование крупномасштабной структуры

Наблюдаемая крупномасштабная структура Вселенной (филаменты, пустоты, узлы) может быть интерпретирована как геометрическое отражение структуры множества $\mathcal{P}(T)$:

- различные траектории в $\mathcal{P}(T)$ приводят к различным локальным конфигурациям материи;
- кластеризация переходов формирует пространственные неоднородности;
- сетевая архитектура $\mathcal{P}(T)$ отражается в сетевой структуре распределения материи.

Таким образом, филаментная структура космоса соответствует сетевой архитектуре множества допустимых будущих состояний.

8.4. Асинхронность космологических процессов

Космологические процессы (инфляционные фазы, реионизация, формирование структур)

происходят одновременно в разных регионах.

В рамках данного подхода это объясняется тем, что:

- разные области реализуют различные траектории из множества $\mathcal{P}(T)$;
- локальные пороги достигаются асинхронно;
- кластерная динамика различается по регионам.

Следовательно, фрагментарность космологических процессов является прямым следствием структуры $\mathcal{P}(T)$.

8.5. Космологическая устойчивость

Наличие множества траекторий в $\mathcal{P}(T)$ обеспечивает устойчивость космологической эволюции:

- локальные возмущения не блокируют переход;
- альтернативные траектории сохраняют возможность развития;
- отсутствует критическая зависимость от единственного сценария.

Таким образом, устойчивость Вселенной определяется избыточностью структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

8.6. Отсутствие единственной траектории при наличии направленности эволюции

В стандартных космологических моделях часто предполагается существование единственной глобальной траектории эволюции Вселенной.

В рамках рассматриваемого подхода это представление требует уточнения.

С одной стороны:

- различные регионы реализуют различные элементы множества $\mathcal{P}(T)$;
- переходы происходят асинхронно;
- формы разрушения симметрии различаются;
- эволюция не сводится к единственной последовательности состояний.

Следовательно, в пространстве состояний не существует единственной глобальной траектории. Однако это не означает отсутствия направленности эволюции.

На уровне структуры множества $\mathcal{P}(T)$ наблюдается устойчивая тенденция:

- усложнение архитектуры множества допустимых траекторий;
- увеличение связности и региональной структуры;

- рост числа и разнообразия допустимых переходов.

Это может быть охарактеризовано как рост темпоральной сложности: $C(T) \uparrow$.

Таким образом, эволюция Вселенной не является единственной траекторией в пространстве состояний, но может быть описана как направленный процесс усложнения структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

8.7. Связь с темпоральной сложностью в космологии

Структура множества $\mathcal{P}(T)$, проявляющаяся на космологическом уровне, может быть охарактеризована через величину $C(T)$, отражающую её архитектурную сложность.

В этом контексте:

- ранние фазы соответствуют более простой структуре $\mathcal{P}(T)$;
- по мере эволюции структура множества усложняется;
- формирование крупномасштабной структуры сопровождается ростом $C(T)$.

Таким образом, космологическая эволюция может рассматриваться как процесс роста структурной сложности множества допустимых будущих состояний.

8.8. Космологическое значение структуры множества $\mathcal{P}(T)$

Темпоральная свобода, возникающая как свойство множества $\mathcal{P}(T)$:

- проявляется на космологическом масштабе;
- определяет многозначность ранних переходов;
- формирует асимметрии и неоднородности;
- отражается в крупномасштабной структуре;
- обеспечивает устойчивость эволюции;
- исключает существование единственной траектории развития.

Таким образом, космологическая эволюция может быть интерпретирована как реализация и усложнение структуры множества допустимых будущих состояний.

9. Следствия структуры множества допустимых будущих состояний

Темпоральная свобода, возникающая как свойство множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$, определяет фундаментальные характеристики эволюции уровней T . Следствия, традиционно приписываемые «свободе», в действительности являются прямыми свойствами структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

Рассмотрим основные из них.

9.1. Открытость будущего

Минимальное следствие существования множества $\mathcal{P}(T)$: будущее не может быть сведено к единственной траектории.

Это является не эпистемологическим ограничением, а структурным свойством:

- $|\mathcal{P}(T)| \geq 2$;
- множество $\mathcal{P}(T)$ динамично;
- структура допустимых траекторий изменяется при каждом переходе.

Следовательно, открытость будущего является свойством структуры $\mathcal{P}(T)$.

9.2. Невозможность детерминизма

Если множество $\mathcal{P}(T)$ содержит более одного допустимого пути, детерминизм невозможен.

Это означает:

- даже при полном знании состояния T невозможно выделить единственную траекторию;
- будущее не редуцируется к одному исходу;
- множественность траекторий является структурной, а не информационной.

Таким образом, детерминизм несовместим с нетривиальной структурой множества $\mathcal{P}(T)$.

9.3. Устойчивость к локальным возмущениям

Наличие множества траекторий в $\mathcal{P}(T)$ обеспечивает устойчивость:

- нарушение одной траектории не блокирует переход;
- альтернативные пути сохраняют возможность эволюции;
- локальные отклонения не разрушают глобальную динамику.

Следовательно, устойчивость уровня определяется избыточностью структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

9.4. Невозможность полной синхронизации

Полная синхронизация соответствует вырождению: $\mathcal{P}(T) \rightarrow \{\text{одна траектория}\}$.

Такое состояние:

- несовместимо с асинхронностью локальных ритмов;
- исключает кластерную динамику;
- делает эволюцию невозможной.

Следовательно, полная синхронизация структурно несовместима с существованием нетривиального множества $\mathcal{P}(T)$.

9.5. Адаптивность эволюции

Если множество $\mathcal{P}(T)$ содержит множество траекторий:

- система может реализовывать различные переходы в зависимости от локальных условий;
- возможны альтернативные конфигурации T_{after} ;
- эволюция становится адаптивной.

Таким образом, адаптивность является следствием структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

9.6. Необратимость эволюции

Необратимость перехода задаётся темпоральной метрикой и порогами $\Delta T_{\text{critical}}(\text{local})$.

Структура множества $\mathcal{P}(T)$ усиливает это свойство:

- каждая реализованная траектория исключает альтернативные;
- возврат к предкритическому состоянию невозможен;
- восстановление исходной симметрии G не допускается.

Следовательно, необратимость является совместным следствием метрики и структуры $\mathcal{P}(T)$.

9.7. Многослойность причинности

Структура множества $\mathcal{P}(T)$ соответствует многослойной причинности:

- локальные причины (пороговые переходы);
- кластерные причины (объединения переходов);
- глобальные причины (перколяционные пороги);
- структурные причины (темпоральная метрика).

Таким образом, причинность приобретает иерархическую структуру, отражающую архитектуру множества $\mathcal{P}(T)$.

9.8. Отсутствие единственной привилегированной траектории

Если множество $\mathcal{P}(T)$ содержит несколько допустимых путей, ни один из них не является привилегированным.

Это означает:

- отсутствует «единственно правильный» путь;
- отсутствует абсолютная оптимальность;
- реализуемая траектория определяется структурой $\mathcal{P}(T)$, а не внешней целью.

Следовательно, эволюция не является телеологическим процессом.

9.9. Разнообразие структур как следствие $\mathcal{P}(T)$

Многообразие:

- физических структур;
- симметрий и их нарушений;
- топологий;
- фазовых переходов;
- биологических и социальных форм.

Возникает как следствие структуры множества $\mathcal{P}(T)$.

Таким образом, разнообразие является прямым следствием множественности и организации допустимых траекторий.

9.10. Связь структуры $\mathcal{P}(T)$ и сложности $C(T)$

Структура множества $\mathcal{P}(T)$ может быть охарактеризована величиной $C(T)$, отражающей его архитектурную сложность.

В этом контексте:

- увеличение структурной сложности множества $\mathcal{P}(T)$ приводит к росту числа и разнообразия допустимых траекторий;
- усложнение архитектуры (связность, регионы, иерархия) увеличивает $C(T)$;
- рост $C(T)$ соответствует усложнению структуры будущего.

Следовательно, $C(T) \sim \text{структура}(\mathcal{P}(T))$.

При этом:

- существование $\mathcal{P}(T)$ определяет наличие свободы;
- структура $\mathcal{P}(T)$ определяет её степень.

9.11. Ограниченность предсказания

Нетривиальная структура множества $\mathcal{P}(T)$ делает невозможным полное предсказание:

- невозможно заранее определить конкретную реализованную траекторию;
- возможна только классификация допустимых состояний;
- предсказание ограничено структурой множества $\mathcal{P}(T)$.

Это является не ограничением вычислений, а свойством самой структуры реальности.

9.12. Следствия структуры множества $\mathcal{P}(T)$

Все ключевые свойства, приписываемые темпоральной свободе, являются следствиями структуры множества $\mathcal{P}(T)$:

- открытость будущего;
- невозможность детерминизма;
- устойчивость эволюции;
- адаптивность;
- необратимость;

- разнообразие структур;
- ограниченность предсказания.

Таким образом, темпоральная свобода представляет собой проявление архитектуры множества допустимых будущих состояний и не является независимым принципом.

10. Ограничения концепции

Несмотря на внутреннюю согласованность предложенного подхода, основанного на множестве допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$, существуют принципиальные ограничения его применения, интерпретации и формализации.

Эти ограничения связаны не с противоречиями теории, а с природой самого объекта $\mathcal{P}(T)$, его динамической структурой и пределами наблюдаемости.

10.1. Ограничения наблюдаемости

Структура множества $\mathcal{P}(T)$ непосредственно не наблюдаема.

Наблюдаемыми являются только реализованные переходы: $T_{\text{before}} \rightarrow T_{\text{after}}$.

При этом недоступны:

- распределение локальных ритмов в момент перехода;
- конфигурации кластеров до их реализации;
- альтернативные траектории, принадлежащие $\mathcal{P}(T)$, но не реализованные.

Следовательно, наблюдение фиксирует элемент множества $\mathcal{P}(T)$, но не его структуру.

10.2. Ограничения реконструкции

Даже при полном знании состояния T_{after} невозможно восстановить:

- множество $\mathcal{P}(T_{\text{before}})$;
- все допустимые траектории перехода;
- конфигурации нереализованных кластеров.

Это связано с тем, что: $|\text{нереализованные траектории}| \gg |\text{реализованные}|$.

Следовательно, обратная реконструкция структуры $\mathcal{P}(T)$ является фундаментально неполной.

10.3. Ограничения математической формализации

Полная математизация множества $\mathcal{P}(T)$ сталкивается с рядом трудностей:

- динамическая изменяемость структуры;
- отсутствие фиксированной топологии;
- необходимость описания сетевых, а не линейных эволюций;
- отсутствие универсального оператора переходов между траекториями;

- зависимость структуры от локальных условий.

В настоящее время: формальный аппарат, полностью описывающий геометрию $\mathcal{P}(T)$, отсутствует.

Настоящая работа задаёт концептуальные основания, но не завершённую математическую теорию.

10.4. Ограничения при высокой симметрии

Для уровней с высокой степенью симметрии G :

- множество $\mathcal{P}(T)$ может существенно сжиматься;
- число допустимых траекторий уменьшается;
- структура становится менее развитой.

В предельном случае: $\mathcal{P}(T) \rightarrow \{\text{одна траектория}\}$, что соответствует исчезновению темпоральной свободы.

Таким образом, симметрия выступает как фактор, ограничивающий структуру множества $\mathcal{P}(T)$.

10.5. Масштабная зависимость

Структура множества $\mathcal{P}(T)$ зависит от масштаба:

- на микроуровне доминируют квантовые эффекты;
- на мезоуровне – кластерная динамика;
- на макроуровне – перколяционные структуры.

При этом:

- свойства $\mathcal{P}(T)$ не масштабируются линейно;
- структура может усиливаться или подавляться;
- сложность $C(T)$ влияет на степень выраженности множества.

Следовательно, проявления темпоральной свободы масштабно зависимы.

10.6. Ограничения интерпретации

Множество $\mathcal{P}(T)$:

- не связано с выбором субъекта;
- не зависит от наблюдателя;
- не является вероятностным механизмом;
- не допускает телеологической интерпретации.

Любые трактовки в терминах целей, намерений или оптимальности выходят за пределы данной теории.

10.7. Различимость свободы и неопределённости

Структура множества $\mathcal{P}(T)$ и неопределённость могут проявляться сходным образом:

- обе приводят к множественности траекторий;
- обе делают будущее открытым;
- обе зависят от структуры системы.

Однако:

- неопределённость связана с ограничением информации;
- структура $\mathcal{P}(T)$ является объективным свойством уровня.

На практике их различие может быть затруднено, что представляет собой эпистемологическое, но не теоретическое ограничение.

10.8. Ограничения предсказуемости

Нетривиальная структура множества $\mathcal{P}(T)$ делает невозможным полное предсказание:

- невозможно определить реализуемую траекторию;
- возможно только описание допустимых классов состояний;
- прогноз ограничен структурой $\mathcal{P}(T)$.

Это ограничение: является фундаментальным следствием структуры множества, а не недостатком вычислительных методов.

10.9. Связь ограничений со сложностью $C(T)$

Ограничения наблюдаемости, реконструкции и формализации усиливаются с ростом сложности:

- при увеличении $C(T)$ возрастает число и разнообразие траекторий;
- усложняется структура множества $\mathcal{P}(T)$;
- снижается возможность полного описания и предсказания.

Таким образом, рост $C(T)$ одновременно расширяет структуру множества будущих и усиливает ограничения на его описание.

10.10. Итоговое утверждение

Ограничения предложенного подхода связаны не с несостоятельностью теории, а с природой объекта $\mathcal{P}(T)$:

- его динамической структурой;
- множественностью траекторий;
- отсутствием полной наблюдаемости;
- ограниченной реконструируемостью;
- неполной формализуемостью.

Следовательно, ограничения касаются способов описания и анализа, но не ставят под

сомнение онтологический статус множества $\mathcal{P}(T)$ как структурного элемента реальности.

Заключение

В работе сформулирован подход к описанию темпоральной свободы как структурного свойства уровней реальности T , обладающих темпоральной метрикой и структурной причинностью. Показано, что темпоральная свобода не является вероятностной характеристикой, случайностью или следствием неполноты информации. Она возникает как следствие существования множества допустимых будущих состояний $\mathcal{P}(T)$, формируемого архитектурой темпоральной метрики, асинхронностью локальных ритмов и порогово-кластерной природой причинности.

Введено множество $\mathcal{P}(T)$ как центральный объект описания, определяющий пространство допустимых переходов уровня. Показано, что это множество обладает сетевой архитектурой, является динамическим и открытым и не может быть сведено к конечному набору дискретных сценариев. Его структура формируется через распределение локальных порогов $\Delta T_{critical}(local)$, вариативность кластерных конфигураций и перколяционные механизмы достижения глобальных переходов.

Установлено, что темпоральная свобода определяется структурой множества $\mathcal{P}(T)$ и выступает как необходимое условие переходов $T \rightarrow T_{after}$. Вырождение множества $\mathcal{P}(T)$ в единственную траекторию приводит к невозможности перехода и фиксации уровня. Следовательно, эволюция возможна только при наличии нетривиальной структуры множества допустимых будущих состояний.

Показано, что ключевые свойства эволюции – адаптивность, устойчивость, необратимость и множественность путей развития – являются прямыми следствиями структуры множества $\mathcal{P}(T)$, а не независимыми характеристиками системы.

Космологические следствия предложенного подхода включают структурную многозначность ранних переходов, неоднородность асимметрий, вариативность формирования крупномасштабной структуры и отсутствие единственной глобальной траектории эволюции. В этом контексте наблюдаемая структура Вселенной может рассматриваться как проявление архитектуры множества допустимых переходов на космологическом уровне.

Введена связь между множеством $\mathcal{P}(T)$ и темпоральной сложностью $S(T)$, где $S(T)$ характеризует архитектурную организацию множества будущих состояний. В этом смысле существование $\mathcal{P}(T)$ определяет возможность эволюции, а его структура – её форму и степень сложности, формируя основу для последующего анализа динамики темпоральной сложности.

Рассмотренные ограничения показывают, что трудности наблюдаемости, реконструкции и полной формализации связаны с природой самого множества $\mathcal{P}(T)$, его динамической структурой и множественностью траекторий. Эти ограничения не затрагивают онтологический статус множества допустимых будущих состояний, а лишь определяют границы его описания.

Таким образом, в рамках серии VTN формируется последовательная структура: темпоральная метрика \rightarrow структурная причинность \rightarrow множество допустимых будущих состояний.

Научная новизна работы заключается в том, что темпоральная свобода формализуется как структурное свойство темпоральной метрики, а не как проявление вероятностной неопределённости или эпистемологического ограничения. Многозначность будущего интерпретируется как неизбежное следствие асинхронности локальных ритмов, порогово-кластерной природы причинности и отсутствия глобальной синхронизации.

В отличие от подходов, связывающих вариативность будущего с вероятностными моделями или квантовой неопределённостью, предложенная концепция рассматривает её как геометрическое и структурное свойство множества допустимых траекторий $\mathcal{P}(T)$. Тем самым вводится класс описания эволюции, в котором направленность, причинность и многозначность будущего объединяются в рамках единой темпоральной архитектуры.

Данная работа задаёт основу для последующего анализа архитектуры и эволюции темпоральной сложности и формирует единую концептуальную схему описания направленности времени, механизмов переходов и структурной многозначности будущего.

Заявления

Работа не получила целевого финансирования. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Prigogine I. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences. W.H. Freeman, 1980.
2. Smolin L. Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe. Houghton Mifflin Harcourt, 2013.
3. Rovelli C. The Order of Time. Riverhead Books, 2018.
4. Penrose R. The Road to Reality. Jonathan Cape, 2004.
5. Kadanoff L.P. Statistical Physics: Statics, Dynamics and Renormalization. World Scientific, 2000.
6. Strogatz S. Nonlinear Dynamics and Chaos. Westview Press, 2014.
7. Goldenfeld N. Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group. Westview Press, 1992.
8. Stauffer D., Aharony, A. Introduction to Percolation Theory. Taylor & Francis, 1994.
9. Barabási A.-L. Network Science. Cambridge University Press, 2016.
10. Ellis G.F.R., Maartens R., MacCallum M.A.H. Relativistic Cosmology. Cambridge University Press, 2012.
11. Liddle A.R. An Introduction to Modern Cosmology. Wiley, 2015.
12. Sethna J.P. Entropy, Order Parameters, and Complexity. Oxford University Press, 2006.
13. Weinberg S. The First Three Minutes. Basic Books, 1993.
14. Zeh H.D. The Physical Basis of the Direction of Time. Springer, 2007.
15. Wallace D. The Emergent Multiverse. Oxford University Press, 2012.
16. Laughlin R.A. Different Universe. Basic Books, 2005.
17. Anderson P.W. More is Different. Science, 1972. Vol. 177, P. 393-396.
18. Ladyman J., Ross D. Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized. Oxford University Press, 2007.
19. Landau L.D., Lifshitz E.M. Statistical Physics. Pergamon Press.
20. Чайковский А.И. Темпоральная структура физической реальности. Серия работ VTN-4 – VTN-13. АПИИ, 2025–2026 гг.

TCHAIKOVSKY Arkady Ivanovich

Teacher, Shlisselburg Secondary School No. 1, Russia, Shlisselburg

VTN-15. TEMPORAL FREEDOM

Abstract. *The paper introduces and formalizes the concept of temporal freedom as a structural property of the levels of reality with a temporal metric. It is shown that temporal freedom is not a probabilistic uncertainty and is not reduced to incompleteness of information. It arises as a consequence of the existence of a set of structurally acceptable future states $\mathcal{P}(T)$, formed by a temporal metric, the asynchrony of local rhythms, and the cluster-percolation nature of causality.*

It is shown that the set of future states has a networked, dynamically changing architecture and cannot be reduced to a finite set of discrete scenarios. Temporal freedom is determined not by the number of possible trajectories, but by the structural organization of the space of future states.

It is established that temporal freedom is a necessary condition for the evolution of T levels, providing a multiplicity of acceptable transition paths, the possibility of breaking symmetries and the stability of the formation of new structures. It is shown that freedom manifests itself as a consequence of structural causality and does not contradict the direction of temporal dynamics.

The cosmological consequences of temporal freedom are discussed, including the ambiguity of early transitions, structural heterogeneity, and the absence of a single trajectory of cosmological evolution. The limitations of the concept related to the observability and formal reconstruction of the set of futures are analyzed.

The work completes the formation of a triad within the VTN series: temporal metric \rightarrow structural causality \rightarrow space of permissible future states, introducing temporal freedom as a characteristic of the architecture of this space.

Keywords: *time, temporal metric, temporal freedom, multiple futures, structural causality, asynchrony, threshold transitions, percolation, symmetry, evolution of T levels, structure of reality.*

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 16 (302)

Часть I

ISSN 2713-1513

Подготовка оригинал-макета: Орлова М.Г.

Подготовка обложки: Ткачева Е.П.

Учредитель и издатель: ООО «Агентство перспективных научных исследований»

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135

Email: info@apni.ru

Сайт: <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 21.04.2026г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40